
ДГТУ
БЕЗОПАСНОСТЬ
ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ
СИСТЕМ
№2 2022
SAFETY
OF TECHNOGENIC AND NATURAL
SYSTEMS
n.2 2022
ISSN 2541-9129
DOI 10.23947/2541-9129
Сетевой электронный теоретический и научно - практический журнал
Network Electronic Journal
https://btps.elpub.ru

Безопасность техногенных и природных систем

№ 2

Сетевой электронный журнал

Издаётся с 2017 г.

Выходит 4 раза в год
(февраль, май, август, ноябрь)
март 2022 г. – май 2022 г.

ISSN 2541-9129
DOI: 10.23947/2541-9129

Учредитель и издатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в котором должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК)

В журнале публикуются научные статьи по следующим направлениям:

1. Машиностроение.
2. Химические технологии, науки о материалах, металлургия.
3. Техносферная безопасность.

Индексируется и архивируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ), CyberLeninka, ROAD, GoogleScholar.

Является членом Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ) и CrossRef.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77 – 66531 от 21 июля 2016 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Над номером работали:
И. В. Бойко, Г. И. Рассохин, Д. С. Богатырева (англ. версия)

Адрес учредителя, издателя и редакции:
344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. +7 (863) 2-738-372
E-mail: spu-10.2.3@donstu.ru https://btps.elpub.ru/



СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ







Научная статья
УДК 622.692.286: 331.45
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-4-8

Разработка мероприятий по повышению уровня безопасности труда при эксплуатации резервуаров в весенний период

А. В. Федосов, Н. Х. Абдрахманов, О. С. Дьяченко
Уфимский государственный нефтяной технический университет (г. Уфа, Российская Федерация)

Введение. В работе рассмотрена проблема образования наледи на кольце орошения вертикальных стальных резервуаров (ВСР) в весенний период, угрожающая безопасности персонала при выполнении технологических операций. Обозначена необходимость внедрения средств защиты от наледи, которые позволят освободить товарных операторов от выполнения работы повышенной опасности по очистке льда с сухотрубов.
Постановка задачи. Задачей исследования является обоснование применения возможных способов борьбы с обледенением на кольце орошения резервуаров.
Теоретическая часть. В качестве основной информации приведены современные методы борьбы с обледенением, используемые в отраслях машиностроения, нефтяной промышленности и в строительстве.
Выводы. Предложены варианты использования средств для борьбы с наледью, благодаря которым повысится общий уровень безопасности в резервуарном парке.

Ключевые слова: охрана труда, резервуар, система орошения, обледенение, греющий кабель, противообледенительные жидкости.

Для цитирования: Федосов, А. В. Разработка мероприятий по повышению уровня безопасности труда при эксплуатации резервуаров в весенний период / А. В. Федосов, Н. Х. Абдрахманов, О. С. Дьяченко // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 2. — С.4−8. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-4-8

Original article

Development of Measures to Improve Occupational Safety during Operation of Reservoirs in Spring

A. V. Fedosov, N. Kh. Abdrakhmanov, O. S. Dyachenko
Ufa State Petroleum Technological University (Ufa, Russian Federation)

Introduction. The paper considers the problem of ice formation on the spray ring of vertical steel tanks (VST) in spring, which threatens the safety of operating personnel when carrying out technological operations. The necessity of introduction of means of protection against ice is emphasized, which will make it possible to release commercial operators from performance of high risk operations of ice clearing from dry pipelines.
Problem Statement. The task of the research is to substantiate the use of possible ways of icing control on the tank spray ring.
Theoretical Part. As the basic information, the modern methods of de-icing used in mechanical engineering, oil industry and construction are presented.
Conclusions. As a result, the work proposes options for the use of means to fight against icing, through which the overall level of safety in the tank farm will increase.

Keywords: occupational safety, tank, spray system, icing, heating cable, anti-icing liquids.

For citation: Fedosov A. V., Abdrakhmanov N. Kh., Dyachenko O. S. Development of Measures to Improve Occupational Safety during Operation of Reservoirs in Spring. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2022;2: 4−8. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-4-8

Введение. Проблема обледенения оборудования и сооружений остро стоит перед промышленными отраслями, потому что она напрямую влияет на их долговечность, а также на уровень безопасности при их эксплуатации. Это особенно актуально для северных районов России, где перепады температур в течение суток в период с марта по май могут достигать более 10°C [1].

Находящиеся в континентальной зоне современные резервуары неоднократно испытывают цикл замораживания и оттаивания воды, которая образуется на кольце орошения. Система орошения ВСР представляет собой кольцо полых трубопроводов, расположенных на верхнем поясе и предназначенных для тушения пожара в момент возгорания, а также для охлаждения стенки горящего резервуара. При наступлении аварийной ситуации система орошения срабатывает также и на соседних сооружениях для исключения вероятности перекидывания огня. На сухотрубах системы орошения имеются технологические отверстия для подачи оросительной воды. В весенний период талая вода кристаллизуется на кольце при наступлении отрицательных температур в ночное время, в результате чего на нем образуется наледь, которая даже при регулярной чистке может достигать более 2 м в длину.

Скопление больших масс льда на кольце орошения делает следующие ежедневные производственные операции, выполняемые товарными операторами, опасными для жизни [2]:

— открытие и закрытие коренных задвижек;

— отбор проб;

— дренирование подтоварной воды;

— замер уровня взлива нефтепродукта;

— обслуживание оборудования, находящегося у основания резервуара (сифонный кран, устройство размыва донных отложений, приемо-раздаточное устройство и др.).

Сила тяжести ледяных масс, непрерывно действующих на сухотруб, может привести к износу и разрушению оборудования. Кроме того, возможно нарушение нормального функционирования системы орошения при возникновении аварийных ситуаций.

Проблема сезонности характерна только для резервуаров с кольцом орошения, эксплуатируемых на севере страны. Это задает очень узкий круг ее распространения, мешает нефтяной отрасли разработать общие нормы для защиты кольца орошения от наледи, поэтому предприятия своими силами справляются с ее последствиями [3, 4].

Постановка задачи. Основная задача исследования: обосновать применение технических и химических средств борьбы с наледью на кольцо орошения ВСР для повышения надежности оборудования и безопасности эксплуатационного персонала.

На данный момент основной способ борьбы со льдом — это механическая очистка сухотруба товарными операторами с помощью рабочего инструмента, т.к. зачастую на объекте отсутствуют специализированные скребки. Такой метод уборки наледи может привести к повреждению обшивки резервуара, а неконтролируемое падение сбитого льда угрожает оборудованию на первом поясе.

Процесс очистки ледяных масс относится к работам повышенной опасности, поскольку на оператора начинает действовать ряд опасных факторов [5]:

— высота более 1,8 м;

— скользкая поверхность, которая может стать причиной падения;

— бесконтрольное падение сбитого льда;

— воздействие метеорологических факторов (ветер, снег);

— физически тяжелая работа, затратная по времени.

Поэтому во избежание возможных травм и падений предприятиям следует разрабатывать нормативную документацию, регулирующую данный процесс работы, приводить перечень омедненного оборудования, пригодного для очистки опасных промышленных сооружений.

Уменьшение объема выполняемых работ повышенной опасности, а также действующих вредных и опасных производственных факторов — это одна из задач охраны труда на опасных производственных объектах. Разработка соответствующей документации не решает данную задачу [6, 7], поэтому необходимо рассмотреть альтернативные варианты борьбы с обледенением.

Теоретическая часть. Перспективным направлением в решении проблемы обледенения можно считать предупреждение его образования. В нефтяной отрасли давно применяют специализированные греющие

кабели во взрывозащищенном исполнении для обогрева нефтепродуктов в железнодорожных цистернах, резервуарах, трубопроводах. Одной из основных характеристик кабелей является их способность к саморегулированию температуры обогрева в зависимости от внешней среды. Особая саморегулирующая матрица кабеля способна уменьшать проходящий электрический ток по специальным токоведущим дорожкам за счет расширения полимера внутри кабеля при положительной температуре окружающей среды, и наоборот, увеличивать температуру обогрева благодаря увеличению тока при сужении полимера [8].

Обоснование возможности внедрения греющего кабеля на кольцо орошения резервуара должно начинаться с анализа документации по промышленной безопасности. Использование электрооборудования в зоне допустимо по ГОСТ12.2.020–76 во взрывозащищенном исполнении. Сейчас существует большое количество компаний, специализирующихся на промышленном обогреве оборудования и сооружений, благодаря чему проблемы с подбором кабеля не возникают.

Основной задачей при подборе греющего кабеля является вопрос о его положении при монтаже. Здесь существуют несколько вариантов:

— монтаж спиралью;

— монтаж вдоль линии сухотруба.

Монтаж спиралью используется для обогрева труб относительно небольшого диаметра. Такой способ укладывает кабель витками и позволяет прогреть большую площадь поверхности. Его очевидным недостатком является то, что сухотруб является перфорированной трубой, а перекрытие этих отверстий нарушит нормальную работу оборудования.

Предпочтительней будет фиксация греющего кабеля параллельно сухотрубу сверху. Таким образом кабель всегда будет виден при осмотре, на него не будет стекать талая вода, а также не предвидится препятствие для работы системы орошения. На рис. 2 черным цветом обозначен греющий кабель на кольце орошения.

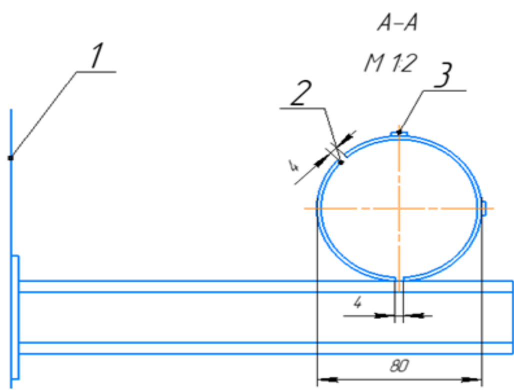


Рис. 1. Схема расположения греющего кабеля на кольце орошения РВС:
1 — стенка РВС; 2 — технологическое отверстие; 3 — греющий кабель



Рис. 2. 3D Модель резервуара с греющим кабелем

Хотя на данный момент на рынке существует множество вариантов греющих кабелей, универсального, обладающего всеми требуемыми техническими характеристиками, пока не предложено. Это может являтся направлением для дальнейших исследований проблемы борьбы с обледенением резервуаров.

Внедрение греющего кабеля на кольцо орошения резервуара эффективно решает проблему обледенения и образования наледи, что уменьшает вероятность возникновения несчастных случаев и затруднение работы системы орошения.

Еще одним способом борьбы с обледенением является использование специальных противообледенительных жидкостей (ПОЖ). Химический метод используется в авиационной промышленности для защиты летательных аппаратов перед полетом. Кроме того, гидрофобные составы применяют для обработки крыш и карнизов у общественных сооружений [9].

Основу антиобледенительных композиций составляют органосилаксаны или другие полимеры, которые после присоединения добавок в виде химических наполнителей, растворителей и ингибиторов коррозии позволяют покрытию получить антиадгезионную структуру, работающую по принципу уменьшения сцепления поверхности с жидкостью, благодаря чему вода стекает, не успевая кристаллизироваться.

После обработки антиобледенительными композициями поверхность приобретает ряд свойств:

— гидрофобность;

— пожаростойкость;

— устойчивость к атмосферным осадкам;

— антикоррозионность.

Продолжительный срок службы и низкие экономические затраты на покрытие могут сделать химический метод наиболее востребованным среди предложенных решений. Покрытие кольца орошения гидрофобным составом в теории способно показать отличный результат.

На данный момент не предложен оптимальный состав противообледенительных жидкостей, поэтому дальнейшие исследования в этом направлении являются актуальными.

Такими образом, использование специальных противообледенительных жидкостей возможно для решения проблемы обледенения и образования наледи, которая образуется на кольце орошения резервуаров, что также уменьшает вероятность возникновения несчастных случаев и затруднения работы системы орошения.

Выводы. Существующая проблема обледенения ставит под угрозу безопасность эксплуатационного персонала [10]. В исследовании предложены эффективные методы борьбы с обледенением. Внедрение предложенных способов позволит повысить безопасность при эксплуатации резервуаров в наиболее опасный период года. Для выбора наиболее подходящего метода необходима проверка на практике.

Библиографический список

1. Анисимов, О. А. Климат в арктической зоне России: анализ современных изменений и модельные проекции на XXI век / О. А. Анисимов, В. А. Кокорев // Электронный научный журнал «Вестник Московского университета — 2016. — № 5. — С. 61–66. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/klimat-v-arkticheskoy-zone-rossii-analiz-sovremennyh-izmeneniy-i-modelnye-proektsii-na-xxi-vek (дата обращения : 15.11.2021).

2. Коршак, А. А. Нефтебазы и АЗС: учебное пособие / А. А. Коршак, Г. Е. Коробков, Е. М. Муфтахов. — Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2006. — 415 с.

3. Абдрахимов, Ю. Р. Управление рисками и техническое регулирование: монография / Ю. Р. Абдрахимов, А. В. Федосов, Н. В. Вадулина. — Уфа : РИЦ УГНТУ, 2013. — 176 с.

4. Принципы разработки информационной модели управления минимизацией рисков опасных производственных объектов нефтегазового комплекса / Н. Х. Абдрахманов, Н. В. Шутов, К. Н. Абдрахманова, [и др.] // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». — 2014. — № 4. — С. 353–367.

5. Энциклопедия безопасности жизнедеятельности: учеб. пособ. / Р. Н. Бахтизин, С. Г. Родионова, Ю. В. Лисин [и др.]. — Москва : Издательский дом Недра, 2017. — 826 с.

6. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособ. / В. А. Акимов, В. Л. Лапин, В. М. Попов [и др.] / под общ. ред. М. И. Фалеева. — Москва : Финансовый издательский дом «Деловой экспресс», 2002. — 368 с.

7. Тимофеева, С. С. Современные методы оценки профессиональных рисков и их значение в системе управления охраной труда / С. С. Тимофеева // XXI век. Техносферная безопасность. — 2016. — Т. 1, № 1 (1). — С. 14–24.

8. Бердышев, И. В. Принцип действия и основы монтажа систем антиобледенения и снеготаяния / И. В. Бердышев // Символ науки. — 2020. — № 3. — С. 19–22.

9. Поверхностно-активные вещества в составах противообледенительных жидкостей / Р. Р. Мингазов, Н. Ю. Башкирцев, Ю. С. Овчинникова [и др.] // Вестник технологического университета. — 2015. — Т. 18, № 6. — С. 85–87.

10. Федосов, А. В. Профессиональные риски работников нефтяной промышленности / А. В. Федосов, З. А. Закирова, И. Е. Гусева // Безопасность труда в промышленности. — 2016. — № 6. — С. 70–73.

Поступила в редакцию: 25.02.2022
Поступила после рецензирования: 08.04.2022
Принята к публикации: 08.04.2022

Об авторах:

Федосов Артем Васильевич, доцент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, РФ, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1), кандидат технических наук, ORCID, fedsv-artem@rambler.ru.

Абдрахманов Наиль Хадитович, заведующий кафедрой «Промышленная безопасность и охрана труда» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, РФ, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID, anailx@mail.ru.

Дьяченко Оксана Сергеевна, магистрант кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, РФ, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1), ORCID, oksanasakadina@mail.ru.

Заявленный вклад соавторов:

А. В. Федосов — научное руководство, формулирование основной цели исследования, создание методики его проведения, обработка данных наблюдений, редактирование текста; Н. Х. Абдрахманов — определение структуры статьи, критический анализ, редактирование; О. С. Дьяченко — разработка основной концепции исследования, постановка задачи, участие в исследовании.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ





Научная статья
УДК 331.108.43
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-9-13



Применение мобильных приложений при проведении периодических проверок знаний и оценки квалификации стропальщиков

Е. В. Егельская, В. А. Каланчукова
Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Статья посвящена вопросам совершенствования процессов периодических проверок знаний и оценки квалификации стропальщиков для повышения уровня профессионального мастерства, готовности к применению соответствующих приспособлений, инвентаря и средств индивидуальной защиты.
Постановка задачи. Ввиду зачастую формальной организации очередных (периодических) проверок знаний стропальщиков, что потенциально приводит к несчастным случаям на производстве, возникает потребность в применении новых форм организации и проведения указанных мероприятий.
Теоретическая часть. Периодическая проверка знаний предполагает формат устного экзамена, организуемого самой организацией, эксплуатирующей грузоподъемные краны. В качестве альтернативы очередным проверкам знаний особый вес приобретает независимая оценка квалификации в Центрах оценки квалификации. Учитывая широкую цифровизацию производств и повсеместное применение IT-технологий, предлагается разрабатывать и применять для периодических проверок знаний стропальщиков мобильные приложения, позволяющие визуализировать и выбирать верные решения для выполнения трудовых функций.
Выводы. Высокий уровень профессиональной подготовки стропальщика — немаловажная составляющая в вопросе безопасности при эксплуатации подъемных сооружений. Особого внимания заслуживают и периодические подтверждения уровня квалификации, что требует применения современных подходов и технических возможностей.

Ключевые слова: стропальщик, профессиональная подготовка, аттестация, проверка знаний, информационные технологии.

Для цитирования: Применение мобильных приложений при проведении периодических проверок знаний и оценки квалификации стропальщиков / Е. В. Егельская, В. А. Каланчукова // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 2. — С. 9−13. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-9-13

Original article

Use of mobile apps for periodic knowledge tests and qualification assessment of slingers

E. V. Egelskaya, V. A. Kalanchukova
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The article is devoted to the issues of improving the processes of periodic knowledge testing and assessing the qualifications of slingers to improve the level of professional skills, readiness to use appropriate devices, equipment and personal protective equipment.
Problem Statement. In view of the often formal organization of regular (periodic) knowledge checks of slingers, which potentially leads to accidents at work, there is a need to apply new forms of organization and conduct of these activities.
Theoretical Part. Periodic knowledge testing involves an oral examination in the commissions of the organizations that operate cranes. As an alternative to regular knowledge checks, the independent qualification assessment at Qualification Assessment Centers is of particular importance. Taking into account the widespread digitalization of production and the

widespread use of IT technologies, it is proposed to develop and apply mobile applications for periodic knowledge checks of slingers, allowing them to visualize and choose the right solutions for performing labor functions.
Conclusions. The high level of professional training of the slinger is an important component in the issue of increasing the level of safety in the operation of lifting structures, so special attention must be paid to the training of qualified personnel.

Keywords: slinger, professional training, certification, knowledge testing, information technology.

For citation: Egelskaya E. V., Kalanchukova V. A. Use of mobile apps for periodic knowledge tests and qualification assessment of slingers. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2022;2:9−13. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-9-13

Введение. Профессия стропальщика востребована во многих отраслях производств, где эксплуатируются подъёмные сооружения, у которых в качестве грузозахватного органа используется крюк — грузоподъёмные краны или краны-манипуляторы. К ним относятся строительство, складское хозяйство, портовые и железнодорожные грузовые терминалы, машиностроительная промышленность и другие. Профессия стропальщика сопряжена с риском травмирования в процессе производства работ ввиду воздействия опасных и вредных производственных факторов, таких как: повышенный уровень шума и вибрации, повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны, риск падения перемещаемого груза или его элементов [1]. Несмотря на видимое улучшение статистики аварийности и травматизма на объектах, эксплуатирующих подъёмные сооружения (рис. 1) [2], ситуацию нельзя назвать оптимистичной. Стропальщики по-прежнему находятся в группе риска.

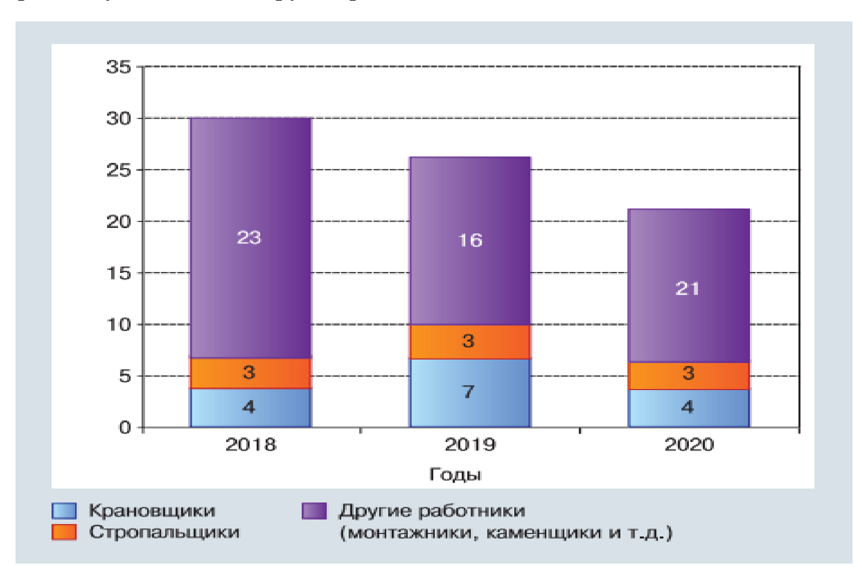


Рис. 1. Персонал, погибший при эксплуатации грузоподъёмных кранов в 2018–2020 гг. [2]

Ранее в работах, посвящённых вопросам обеспечения безопасности персонала [3, 4], были подробно рассмотрены причины травмирований и несчастных случаев, в том числе роль «человеческого фактора» и низкий уровень профессиональной подготовки персонала [5].

Постановка задачи. Для исключения травмирования стропальщиков и повышения качества обслуживания грузоподъёмных кранов необходимо применять новые подходы и методы в рамках поддержания уровня профессиональных знаний работников.

В настоящее время работник, получивший профессиональное образование стропальщика, поступает в полное распоряжение руководителя соответствующего подразделения на предприятии, где отношение к дальнейшему поддержанию уровня его профессиональных знаний не всегда гарантировано высокое. Предусмотренные [6, 7] ежегодные очередные проверки знаний стропальщиков нередко проводятся формально, объем профессиональных знаний работников при этом сужается до уровня выполнения определенных действий, не затрагивая подчас вопросы, связанные с персональной защитой стропальщика в период выполнения этих трудовых действий. Такой подход к проведению периодических проверок знаний потенциально приводит к несчастным случаям на производстве, причинами которых является халатное отношение руководства и работников к применению средств защиты, специальных инвентарных приспособлений и т. п. Круг вопросов, необходимых к усвоению в рамках оценки квалификации стропальщиков, не должен ограничиваться только знанием трудовых действий, большое значение имеют также

навыки идентификации и выбраковки съёмных грузозахватных приспособлений, выбора и применения инвентарных приспособлений, а также применения средств индивидуальной защиты, специальной одежды и обуви для выполнения конкретных работ.

Теоретическая часть. Проблема недостаточной квалификации персонала на объектах, эксплуатирующих грузоподъёмные краны, потенциально приводит к серьёзным последствиям, таким как производственные травмы, в том числе со смертельным исходом, а также влечёт значительный материальный ущерб для эксплуатирующей организации.

Практика показывает, что организация очередной (периодической) проверки знаний предполагает формат устного экзамена, который проводится на комиссии, организованной самой организацией. В редких случаях проводится предаттестационная лекция. Как правило, обсуждаются недостатки, ошибки, допущенные в конкретных работах на объектах. В качестве альтернативы очередным проверкам знаний особый вес приобретает независимая оценка квалификации в Центрах оценки квалификации (ЦОК), осуществляющих свою деятельность в соответствии с требованиями законодательства [8].

Практика работы ЦОК по оценке квалификации, например, работников лифтовой отрасли [8, 9], показывает положительную динамику в уровне подготовленности персонала к выполнению трудовых функций и действий. Не последнюю роль играют компетентность и независимость самого мероприятия оценки квалификации в ЦОК, что позволяет объективно оценить каждого аттестуемого. Процедура оценки квалификации предполагает несколько этапов — теоретический и практический. Процесс проведения проверки знаний записывается на видео. Затем видеоматериал отправляют в Совет по профессиональным квалификациям по определенным видам профессиональной деятельности. Это орган, обеспечивающий и контролирующий деятельность по независимой оценке квалификаций. В его полномочия входят: проверка, обработка и признание результатов независимой оценки квалификации; принятие решения о выдаче свидетельств о квалификации центром оценки квалификации; направление в национальное агентство развития квалификаций информации о выданных свидетельствах о квалификации для внесения в реестр.

В настоящее время пройти оценку квалификации в ЦОК стропальщик может самостоятельно или по направлению от предприятия-работодателя. Обязательный характер прохождения независимой оценки квалификации до настоящего времени не определён на законодательном уровне. Однако данная проблема широко обсуждается в профессиональных сообществах.

Независимо от форм и мест проведения оценки квалификации или проверки знаний стропальщиков, данные мероприятия также требуют применения иных форм и подходов, в частности, использования IT-технологий. ИТ-технологии — это процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов [10].

Информационные технологии плотно вошли не только в повседневную жизнь каждого человека, но стали незаменимы и в производственных процессах. Сегодня любой желающий имеет доступ к огромному количеству визуальной информации. Известно, что визуальная информация запоминается и воспроизводится быстрее, чем другие виды. Этот факт можно применить в разработке мобильных приложений и учебных кейсов для проверки знаний стропальщиков.

Профессиональный стандарт «Стропальщик» [11] в настоящее время находится в стадии утверждения. Этот документ может быть использован для формирования понимания распределения функций и требований к умениям и знаниям стропальщиков в процессе производственной деятельности. Эксплуатирующие организации разрабатывают производственные инструкции для стропальщиков, руководствуясь типовой инструкцией [12]. Таким образом, в совокупности положений вышеуказанных документов можно рассмотреть требования к выполнению трудовых функций. Например, для трудовой функции «Проведение подготовительных работ перед началом простой работы» среди необходимых умений указано: «Применять средства индивидуальной защиты», «Соблюдать требования охраны труда, технику безопасности и противопожарную безопасность» и пр., а необходимым знанием является владение порядком применения конкретных средств индивидуальной защиты.

Как правило, в процессе проведения периодической проверки знаний стропальщиков основное внимание квалификационной комиссии сосредоточено на знании принципов правильности выполнения строповки, подвешивания грузов на крюк, сопровождения грузов и других конкретных трудовых действий. При этом практически не уделяется внимание знаниям, умениям и навыкам выбора и применения средств индивидуальной защиты и специальной одежды. Понимая важность всех компетенций стропальщика, в том числе и вышеуказанных, предлагается разработка практических материалов в виде учебных кейсов или мобильных приложений. В них в качестве заданий планируется включение ситуационных задач или вопросов с графическим изображением, в которых, например, необходимо выбрать комплект спецодежды для конкретного

вида работ: работ, выполняемых на расстоянии 30 м и ближе от крайнего провода ЛЭП; на высоте; в условиях запыленности или повышенного уровня шума. Также важно включить вопросы на тему «Оказание первой медицинской помощи». Иными словами, задания должны представлять собой визуализацию контрольных тестов для проверки знаний и умений. Тесты могут быть различного уровня: первый — распознавание, второй — воспроизведение; третий — решение ситуационных задач; четвертый — решение оригинальных нестандартных задач. Для стропальщиков, возможно, будет достаточно проводить тесты первого уровня, а для руководителей — второго и более высоких уровней.

Для того, чтобы начать проверку знаний, необходимо выбрать тест (рис. 2). После этого появится вопрос, в котором, например, нужно выбрать один правильный ответ из четырех предложенных (рис. 3); правильный ответ подсветится зеленым, неправильный — красным. Затем необходимо перейти к следующему вопросу. В конце теста будут показаны результаты.



Рис. 2. Мобильное приложение (выбор теста)



Рис. 3. Мобильное приложение (выбор ответа на вопрос)

Применение визуализированных материалов для периодической проверки знаний стропальщиков позволит определить уровень готовности работников к реальным трудовым действиям, а использование информационных технологий позволит легче усваивать теоретическую и практическую информацию и применять её в дальнейшей работе. Такая процедура в дальнейшем исключит формальное отношение к проведению проверки знаний стропальщиков, как со стороны членов комиссии, так и со стороны экзаменуемого, поскольку участие работника в мероприятии, где он должен дать ответ на вопрос, принять решение в ситуационной задаче уже подтверждает его личное участие и может гарантировать запоминание необходимой информации, полученной с помощью мобильных приложений и учебных интернет-кейсов.

Выводы. Высокий уровень профессиональной подготовки стропальщика — немаловажная составляющая в вопросе повышения уровня безопасности при эксплуатации подъёмных сооружений. Поэтому особое внимание необходимо уделить подготовке квалифицированных кадров. Обучение и проверка знаний персонала должны проводиться с использованием современных технологий, в том числе мобильных приложений, учебных интернет-кейсов. Это будет способствовать более широкому освоению теоретической и практической подготовки, что в дальнейшем позволит минимизировать нарушения требований промышленной безопасности и, следовательно, повысит безопасность при эксплуатации подъёмных сооружений.

Библиографический список

1. Приказ Минтруда России от 28.10.2020 № 753н «Об утверждении Правил по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов» (Зарегистрировано в Минюсте России 15.12.2020

№ 61471) / Минтруд России // mintrud.gov.ru : [сайт]. — URL: https://mintrud.gov.ru/docs/mintrud/orders/1726 (дата обращения : 11.01.2022).

2. Годовой отчёт о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 году / РОСТЕХНАДЗОР // gosnadzor.ru : [сайт]. — URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports (дата обращения : 11.12.2021).

3. Короткий, А. А. Оценка риска человеческого фактора в системе «персонал — подъёмные механизмы — производственная среда» на предприятиях машиностроения / А. А. Короткий, Е. В. Егельская // Вестник Донского государственного технического университета. — 2015. — Т.15, № 1 (80). — С.131–137. https://doi.org/10.12737/10396

4. Короткий, А. А. Роль человеческого фактора при эксплуатации подъёмных сооружений / А. А. Короткий, В. В. Котельников, Е. В. Егельская // Химагрегаты. — 2014. — № 4 (28). — С. 42–45.

5. Егельская, Е. В Оценка риска человеческого фактора в системе «персонал — подъемные механизмы — производственная среда» на предприятиях машиностроения» : автореф. дис. … к-та. техн. наук / Е. В. Егельская. — Ростов-на-Дону, 2015. — 21 с.

6. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» от 26 ноября 2020 года № 461 (ред. от 30.12.2020 г.) / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. — Москва : ЗАО НТЦ ПБ, 2020. — 95 с.

7. ГОСТ 34 466–2018. Краны грузоподъёмные. Требования к компетентности крановщиков (операторов), стропальщиков и сигнальщиков / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Москва : Стандартинформ, 2019. — 25 с.

8. О независимой оценке квалификации : федер. закон № 238-ФЗ от 03.07.2016 г / Президент России // kremlin.ru : [сайт]. — URL: http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201607030025.pdf (дата обращения: 11.01.2022).

9. Приказ Минтруда России от 31.03.2021 № 203н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по эксплуатации лифтового оборудования» [зарег. в Минюсте России 30.04.2021 № 63354] / Минтруд России // mintrud.gov.ru : [сайт]. — URL: https://mintrud.gov.ru/docs/mintrud/orders/1925 (дата обращения: 11.01.2022).

10. Об информации, информационных технологиях и о защите информации : федер. закон № 149-ФЗ от 27.07.2006 г / Президент России // kremlin.ru : [сайт]. — URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/24157 (дата обращения: 12.01.2022).

11. Постановление Правительства РФ от 22.01.2013 г. № 23 «О Правилах разработки и утверждения профессиональных стандартов» (с изм. на 27.10.2021 г.) / ЭПС «Система ГАРАНТ» // base.garant.ru : [сайт]. — URL: https://base.garant.ru/70304190/ (дата обращения : 14.01.2022).

12. Типовая инструкция для стропальщиков по безопасному производству работ грузоподъемными машинами (РД 10-107-96): с изменением № 1 [РДИ 10-430(107)-02] / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов // docs.cntd.ru : [сайт]. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200007764 (дата обращения: 14.01.2022).

Поступила в редакцию: 01.02.2022
Поступила после рецензирования: 09.03.2022
Принята к публикации: 09.03.2022

Об авторах:

Егельская Елена Владимировна, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, egelskaya72@mail.ru.

Каланчукова Виолетта Александровна, магистрант кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, kalanchukova@gmail.com.

Заявленный вклад соавторов:

Е. В. Егельская — научное руководство, формирование основной концепции, цели и задачи исследования, доработка текста, корректировка выводов; В. А. Каланчукова — анализ результатов исследований, подготовка текста, формирование выводов.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ





Научная статья
УДК 614.8.027 (574)
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-14-23



Анализ существующих подходов к оценке опасностей и профессиональных рисков работников промышленных предприятий Республики Казахстан

Р. Б. Ширванов

Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет (г. Уральск, Республика Казахстан)

Введение. Одной из актуальных проблем в вопросе предупреждения производственного травматизма работников промышленных предприятий является своевременная и эффективная идентификация, оценка всех опасностей и профессиональных рисков. Как законодательно-нормативными актами, так и рядом зарубежных и отечественных авторов предлагаются различные подходы к такой оценке, анализу преимуществ и недостатков которых и посвящена настоящая статья.
Постановка задачи. Задачей данного исследования является критический анализ существующих подходов к оценке опасностей и профессиональных рисков работников промышленных предприятий.
Теоретическая часть. В качестве базовой информации использованы государственные нормативные методики, а также методики по оценке профессиональных рисков работников промышленных предприятий, предлагаемые различными авторами.
Выводы. По результатам проведенного анализа определены пути решения проблемы предупреждения производственного травматизма работников промышленных предприятий на условиях «предварительности» оценки их профессиональных рисков, т.е. до возникновения негативных событий.

Ключевые слова: работники, производственный травматизм, профессиональное заболевание, рабочее место, опасные и вредные производственные факторы, профессиональный риск, оценка.

Для цитирования: Ширванов, Р. Б. Анализ существующих подходов к оценке опасностей и профессиональных рисков работников промышленных предприятий Республики Казахстан / Р. Б. Ширванов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 2. — С. 14−23. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-14-23

Original article

Analysis of existing approaches to the assessment of hazards and occupational risks of workers of industrial enterprises of the Republic of Kazakhstan

R. B. Shirvanov 

West Kazakhstan Innovation and Technological University (Uralsk, Republic of Kazakhstan)

Introduction. Timely and effective identification and assessment of all hazards and occupational risks is one of the urgent problems in the prevention of occupational injuries of industrial workers. Both legislative and regulatory acts and a number of foreign and domestic authors offer various approaches to such an assessment, the analysis of the advantages and disadvantages of which is the subject of this article
Problem statement. The objective of this study is a critical analysis of the existing approaches to the assessment of hazards and occupational risks of workers in industrial enterprises.
Theoretical part. As the basic information, state regulatory methods were used, as well as methods for assessing the occupational risks of employees of industrial enterprises, proposed by various authors.
Conclusions. According to the results of the analysis, the ways of solving the problem of preventing occupational injuries of industrial workers on the conditions of "preliminary" assessment of their occupational risks, i.e. before the occurrence of negative events, are determined.

Keywords: workers, occupational injuries, occupational disease, workplace, dangerous and harmful production factors, occupational risk, assessment.

***For citation*:** Shirvanov R. B. Analysis of existing approaches to the assessment of hazards and occupational risks of workers of industrial enterprises of the Republic of Kazakhstan. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2022;2:14−23. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-14-23

Введение. Любая деятельность человека, включая трудовую, содержит различные потенциальные опасности, которые являются причиной возникновения производственных травм и профессиональных заболеваний. Следствием могут являться несчастные случаи, аварии, пожары и пр.

Практический опыт свидетельствует, что абсолютно нулевые значения риска для жизни и здоровья человека ни в одном виде его деятельности недостижимы. Однако существуют, в зависимости от вида потенциальных опасностей, разные уровни риска. Таким образом, главная задача предупреждения производственного травматизма состоит в определении величины потенциальной опасности какого-либо вида трудовой деятельности. Речь идет об опасности, как потенциальной угрозе негативного воздействия на жизнь человека, его здоровье и/или окружающую среду. В настоящее время различают потенциальные (скрытые) и реальные опасности, а для реализации первых во вторые необходимы определенные условия или причины [1].

Число опасностей техногенного характера, а также степень их негативного влияния в современном мире постоянно растет. Не исключением является и Республика Казахстан (далее РК), где ежегодно в результате производственного травматизма гибнет более 200 и получают травмы различной степени тяжести более 2 000 человек. Ежегодно регистрируются около 15 000–16 000 чрезвычайных ситуаций и происшествий, причем подавляющее число из них (более 90%) составляют происшествия техногенного характера. Из 1,6 млн. работников промышленных предприятий страны, обследованных в 2019 году, 370 тыс. работников или каждый четвертый (22 %) были заняты во вредных и опасных условиях труда. В условиях повышенных уровней шума и вибрации трудился каждый второй (45,9 %), под воздействием повышенной загазованности и запыленности рабочей зоны — каждый третий (32,6 %), тяжелым физическим трудом были заняты 94 тыс. человек (5,6 % от числа работников обследованных предприятий) [2–4].

Постановка задачи. Одной из проблем в сфере предупреждения травматизма, возникновения чрезвычайных ситуаций и происшествий является своевременная, объективная и полная оценка имеющихся или возникающих потенциальных опасностей. На настоящий момент существует большое количество методик такой оценки (числовые, балльные и др.). Наиболее распространенной оценкой опасностей является риск, т.е. вероятность наступления в системе нежелательного события, которую с определенной и достаточной степенью точности можно выявить из статистических данных [5]. По другому определению риск — это объективное или субъективное измерение вероятности и возможности последствий опасного события, касающегося благосостояния человека или окружающей среды [6]. Большинство ученых и исследователей в сфере безопасности жизнедеятельности используют следующее общее определение: риск – это количественная оценка опасности [7,8]. Английский ученый В. Маршалл в своей книге «Основные опасности химических производств» дал такое определение этому понятию: риск — это частота реализации опасностей, другими словами, риск в числовом выражении представляет собой отношение какого-либо количества негативных ситуаций (n) к их возможному количеству (N) за определенный период времени [8].

Впервые понятие «риск» стало широко использоваться после прошедшего в сентябре 1990 г. в Кельне под девизом «Жизнь в безопасности» Первого Всемирного конгресса по безопасности жизнедеятельности.

В мировой практике максимально допустимым (приемлемым) уровнем индивидуального риска гибели работника на производстве принято считать уровень, равный 10^{-6} в год, т. е. если на 1 миллион погибнет 1 человек, а пренебрежимо малым — 10^{-8} в год [5]. С этих позиций для сравнительного анализа определим риск гибели или травмирования работников в условиях экономики РК. В таблице 1 представлены статистические данные по производственному травматизму за период с 2018 по 2020 гг. в целом по стране [2]. Количество пострадавших при несчастных случаях на производстве в 2020 году, в сравнении с 2018 годом, существенно не изменилось и составило 2 033 человек (в 2018 году количество пострадавших было 2 160 чел.). Однако в 2020 году большинство предприятий республики большую часть времени не работали в связи с карантинными мероприятиями, обусловленными пандемией COVID-19. В 2020 году в результате несчастных случаев на производстве погибло 203 человека, в 2018 — 215 чел. Показатель смертности снизился на 5,6 %. Объясняется

это не повышением уровня безопасности и охраны труда работающих, а простоем предприятий в связи с карантином.

Таблица 1

Статистические данные по травматизму работающих в отраслях экономики РК за период с 2018 по 2020 гг.

№	Наименование показателя	Значение показателей по годам		
		2018	2019	2020
1	Количество занятых в отраслях экономики РК, тыс. чел.	8 704,0	8 773,2	8 750,1
2	Количество погибших работников на производстве, чел.	215	190	203
3	Количество травмированных работников на производстве, чел.	2 160	2 111	2 033
4	Фактический риск гибели работников на производстве	$2{,}47\times10^{-5}$	$2{,}16\times10^{-5}$	$2{,}31\times10^{-5}$
5	Фактический риск травмирования работников на производстве	$2{,}48\times10^{-4}$	$2{,}4\times10^{-4}$	$2{,}32\times10^{-4}$

Представленные в таблице 1 данные свидетельствуют о том, что риск гибели работников на производстве в целом по республике более чем в 2 раза выше, чем общепринятый мировой уровень допустимого приемлемого риска. Причем расчет осуществлялся в целом по экономике как по более, так и по менее травмоопасным отраслям. Если такой расчет произвести по наиболее травмоопасным отраслям страны, то он составит: для отрасли строительства — $9{,}43\times10^{-5}$, для горнодобывающей промышленности — $11{,}1\times10^{-5}$, для отрасли машиностроения — $5{,}48\times10^{-5}$. Все это указывает на неприемлемо низкий уровень обеспечения безопасности и охраны труда (далее БиОТ) работников промышленных предприятий РК.

Хотя представленная выше оценка риска по методике В. Маршалла носит элементарный и упрощенный характер, но она достаточно эффективна и широко используется.

Задачей проводимого исследования являлся критический анализ существующих в РК государственных нормативных документов, предлагаемых различными авторами методов или подходов к оценке профессиональных рисков, а также выработка приоритетных направлений по их совершенствованию.

Теоретическая часть. Пунктом 2 статьи 182 Трудового кодекса РК работодателю вменяется в обязанность проведение постоянного мониторинга уровня профессиональных рисков с целью его профилактики, а также замены применяемых опасных технологий и производственного оборудования на более безопасные [9]. В связи с этим соответствующие службы БиОТ предприятий должны иметь достаточно простые и эффективные методики оценки профессиональных рисков работников. Проведенный обзор нормативно-правовых документов и научной литературы по теме исследования позволил выделить основные подходы и методы оценки опасностей и рисков в сфере промышленной безопасности (далее ПБ), применяемые в республике.

Нормативные методики оценки опасностей и рисков, основанные на статистических данных по производственному травматизму и несчастным случаям. В настоящее время в РК действуют несколько государственных методик, которые обязательны к исполнению всеми государственными контрольными и надзорными уполномоченными органами, а также предприятиями и организациями. Рекомендуемая на государственном уровне нормативная методика оценки уровня промышленной безопасности промышленного объекта изложена в приказе и. о. министра по инвестициям и развитию РК от 26.12.2014 года № 300 [10]. Главной целью данных Правил является определение степени защиты физических и юридических лиц, окружающей среды от опасных и вредных производственных факторов (далее ОВПФ) за счет мониторинга уровня ПБ как со стороны государственных уполномоченных органов в области ПБ, так и со стороны соответствующих подразделений предприятий и организаций. Общий уровень опасности производственного объекта (далее ОПО) определяется предприятием, эксплуатирующим этот объект, один раз в год расчетным методом по следующим показателям: состояние производственных зданий и технологических сооружений; состояние технических устройств, в том числе и опасных; произошедших аварий и инцидентов; частоты

несчастных случаев (далее НС) на производстве; произошедших НС на производстве со смертельным исходом. Итоговый общий уровень опасности объекта определяется суммой вышеуказанных показателей.

Использование представленной методики для оценки уровня промышленной безопасности производственных объектов затруднительно по следующим причинам:

— из рекомендуемых семи расчетных показателей четыре — это показатели произошедших аварий, инцидентов, частоты несчастных случаев и произошедших НС на производстве со смертельным исходом. Они являются статистическими и не отображают реального положения дел. Указанные негативные события могут произойти и на современном хорошо оснащенном производстве по причине ошибочных, неправильных действия персонала, а также при грубом нарушении техники безопасности. Наряду с тем, на небольшом предприятии с малым числом работающих, устаревшими технологиями и оборудованием аварии и несчастные случаи могут и не произойти вообще. Вследствие этого можно сделать неверный вывод о низком уровне промышленной безопасности первого. Кроме того, в жизни многие статистические данные при представлении отчетности в уполномоченные государственные органы отображаются недостоверно, получить реальную картину по ним крайне затруднительно;

— обобщение и сведение в единый статистический массив всех событий под общими показателями «произошедшие аварии» и «произошедшие инциденты» создает проблему того, что внутри данных показателей все случившиеся события одинаковы, т.е. приравнены друг к другу. В соответствии с этим взрыв на предприятии с гибелью большого числа людей и разрушение какого-либо оборудования без пострадавших являются равнозначными событиями. Однако не бывает совершенно одинаковых аварий или инцидентов, т.е. на основании этого показателя какие-либо выводы об уровне ПБ конкретного предприятия или объекта практически сделать невозможно. Аналогичная ситуация и с показателем произошедших НС на производстве со смертельным исходом. Практика показывает, что для большинства промышленных предприятий за отчетный период (год или более) он либо ничтожно мал, либо практически равен нулю. На основании вышеуказанного можно сделать вывод, что использование только показателей аварийности и травматизма для оценки уровня опасностей и рисков промышленного предприятия в целом, а тем более для определения уровня промышленной безопасности отдельных опасных производственных объектов приводит к недостоверным и ошибочным выводам;

— отсутствует ряд важных показателей, таких, например, как обеспечение безопасности технологического процесса, своевременность проведения регламентных работ и уровень их организации, квалификация и знание персоналом требований ПБ, которые непосредственно влияют на такую оценку;

— несомненно, что данная методика разработана лишь для контролирующих государственных органов, которые проводят только внешнюю оценку безопасности производства в целом, не углубляясь в причины и следствия ее низкого уровня, а также, не оценивая профессиональные риски работников.

Другая государственная нормативная методика оценки уровня опасности и рисков производственного объекта изложена в совместном приказе Министра по инвестициям и развитию РК №1206 от 15.12.2015 года и Министра национальной экономики РК №814 от 28.12.2015 года [11]. Оценочные показатели здесь формируются посредством объективных и субъективных критериев. По объективным критериям субъекты или объекты, подлежащие проверке, разделяются на 2 группы — высокой и не отнесенной к высокой степени риска. Для субъектов или объектов первой группы применяется особый порядок проведения проверок на основании полугодовых графиков, внеплановые проверки и иные формы контроля и надзора. Для субъектов или объектов второй группы — только внеплановые проверки и иные формы контроля и надзора. По показателям субъективных критериев применяется механизм поощрения добросовестных субъектов или объектов в форме освобождения их от особого порядка проведения проверки состояния ПБ. Данные критерии по значимости в рассматриваемом документе разделены на 3 степени нарушений по ПБ: грубые, значительные и незначительные. При определении показателя степени риска оценивается удельный вес каждого из невыполненных требований ПБ. Затем они суммируются и находится общий показатель степени риска проверяемого субъекта или объекта высокой степени риска, в зависимости от величины которого такой субъект или объект освобождается от особого порядка проведения проверок на основании полугодовых графиков (от 0 до 60 баллов) или не освобождается (от 60 до 100 баллов).

При этом, если выявлено хотя бы одно невыполненное требование ПБ грубой степени, то общий показатель степени риска проверяемого субъекта или объекта приравнивается к показателю 100 и дальнейший расчет не производится.

Критерии оценки степени риска, по которым производится вышеуказанный расчет, приведены в приложении к данному приказу и содержит более 1000 оценочных показателей.

Применение данной методики в работе службы БиОТ производственного предприятия для внутреннего использования по оценке уровня опасности и рисков затруднительно по следующим причинам:

— она полностью ориентирована на внешнюю оценку предприятия в целом со стороны контролирующих государственных органов;

— данная методика очень трудоемка, так как для определения общих показателей необходимо оценить более 1000 дополнительных оценочных показателей, приведенных в этой методике.

В продолжении вышеуказанным методикам идут Методические рекомендации по управлению рисками на ОПО, утвержденные Приказом Комитета по государственному контролю за ЧС и ПБ РК №46 от 1 октября 2013 года, и устанавливающие общий порядок и процедуру проведения комплексного анализа и оценки состояния ПБ на ОПО [12].

Так, согласно им, основными этапами анализа риска являются: идентификация риска; анализ его уровня или количественной величины степени опасности для работников, оборудования и производственной или окружающей среды; окончательная оценка способом сравнения с приемлемыми или допустимыми уровнями.

Основными этапами анализа риска являются: определение частот возникновения инициирующих и всех нежелательных событий; оценка последствий возникновения нежелательных событий и обобщенная оценка риска. Для решения первой из указанных задач используются статистические данные по аварийности, производственному травматизму и профзаболеваемости на ОПО, а также экспертные оценки специалистов. Окончательная (обобщенная) оценка риска определяет фактическое состояние уровня ПБ с учетом показателей риска от всех негативных ситуаций, которые могут возникнуть на ОПО.

Главные недостатки рассмотренных Методических рекомендаций заключаются в сложности сбора достоверных исходных данных для расчетов, а также в том, что ошибка определенного значения величины риска, даже при наличии всех необходимых исходных данных, очень велика. По этой причине использование результатов риск-анализа для периодического и непрерывного мониторинга уровня ПБ ОПО с целью определения влияния на это состояние тех или иных принимаемых мер очень затруднительна.

Если вышеуказанные Методические рекомендации регламентировали управление рисками только на опасных производственных объектах, то позднее Правилами управления профессиональными рисками от 11.09.2020 года такое управление предусмотрено на всех промышленных предприятиях РК [13]. Данные Правила оговаривают порядок управления профессиональными рисками, и в отличие от других методик, включают этапы не только их идентификации и оценки, но и этапы проведения корректирующих мероприятий, а также контроля и мониторинга уровней профессиональных рисков.

Этап идентификации рисков предусматривается по каждой профессии работающих или рабочему месту предприятия по виду деятельности и включает в себя сбор и анализ информации, комплексное обследование с проведением технических измерений, определение по результатам обследования всех вредных производственных факторов с заполнением утверждаемого руководителем Реестра профессиональных рисков по предприятию.

Оценке подлежат все выявленные ранее вредные производственные факторы, по результатам которой устанавливается уровень их опасности по 5 степеням профессионального риска: 1 степень — допустимый, 2 — низкий, 3 — средний, 4 — высокий и 5 — очень высокий уровень риска.

Для определения степени профессионального риска используется следующее аналитическое выражение:

$$ПР = 0,7 \cdot \frac{В + Т}{2} + 0,2 \cdot \frac{О_б + С_{из}}{2} + 0,1 \cdot З,$$

где В — показатель вредности условий труда, характеризующий вероятность воздействия вредных производственных факторов на трудоспособность работника данной профессии на рабочем месте; Т —

показатель травмоопасности условий труда, характеризующий вероятность воздействия опасных производственных факторов на трудоспособность работника данной профессии на рабочем месте; $О_б$ — показатель безопасности используемого работником на рабочем месте производственного оборудования; $С_{из}$ — показатель обеспеченности работника средствами индивидуальной защиты; З — показатель заболеваемости работников данной профессии [13].

Следующий этап корректирующих мер предусматривает их проведение на основе разработанного Плана мероприятий предприятия по эффективному управлению данными рисками с целью снижения выявленных уровней до более низких и приемлемых.

Заключительный этап контроля и мониторинга профессиональными рисками предусматривает, во-первых, контроль и проверку всех разработанных корректирующих мероприятий, во-вторых, мониторинг рисков за счет сбора и анализа аналитических показателей результатов проведенной оценки для формирования полной информации по снижению степени их опасности.

Преимущество данной методики состоит в том, что именно она по своему содержанию отвечает требованию предварительного установления уровней профессиональных рисков и разработке мероприятий их снижения до возникновения чрезвычайных ситуаций. К недостаткам можно отнести следующие:

— не определена периодичность проведения предприятием такой оценки профессиональных рисков;

— непонятно, почему при идентичных с существующей методикой аттестацией рабочих мест (которая будет рассмотрена ниже) требованиях по комплексному обследованию условий труда с проведением инструментальных измерений данные Правила не были совмещены/объединены.

Методика оценки профессиональных рисков, разработанная в системе страхования работников от несчастных случаев. В соответствии со п.14 ст.182 Трудового кодекса РК в обязанность работодателя вменяется проводить страхование работников от НС при исполнении ими трудовых (служебных) обязанностей. Механизм такого страхования подробно изложен в следующих нормативно-правовых документах:

— Закон РК «Об обязательном страховании работника от несчастных случаев при исполнении им трудовых (служебных) обязанностей» от 07.02.2005 года №30 [14];

— «Правила отнесения видов экономической деятельности к классам профессионального риска» от 30.06.2005 года [15].

Так, согласно данным документам, в случае наступлении страхового (несчастного) случая пострадавшему (застрахованному работнику) выплачивается страховая премия, размер которой определяется соглашением сторон (работодателем и страховой компанией) на базе страхового тарифа, дифференцированного по видам экономической деятельности предприятий, в зависимости от класса профессионального риска, умноженного на страховую сумму по договору страхования. Отнесение видов экономической деятельности предусматривается по 22 различным классам профессионального риска. Непосредственно показатель профессионального риска по конкретному виду экономической деятельности в анализируемом году определяется как отношение величины годовой фактической суммы начисленных выплат на возмещение вреда, причиненного жизни и здоровью работника при исполнении им трудовых (служебных) обязанностей к размеру годового фонда оплаты труда.

Оценка степени профессионального риска конкретного вида экономической деятельности предприятия или организации базируется на следующих статистических показателях: численность пострадавших при НС в течении года; годовая фактически начисленная сумма выплат пострадавшим при НС, в т.ч. средний размер начисленных выплат на одного пострадавшего; годовое число пострадавших от профзаболевания; сумма начисленных выплат пострадавшим от профзаболевания в год, в т.ч. средний размер начисленных выплат на одного пострадавшего; численность погибших при НС в год; годовая сумма фактически начисленных выплат в случае смерти работников, в т.ч. их средний размер; годовой фонд оплаты труда по данному виду экономической деятельности; среднегодовая списочная численность работников по данному виду экономической деятельности [15].

Хотя по рассмотренному методу оценки профессионального риска и можно сделать выводы о степени травмоопасности различных отраслей промышленности по видам экономической деятельности, однако его использование службами БиОТ предприятий затруднено в связи с узко ориентированной

направленностью на сферу страхования. Также все расчеты здесь производятся уже по свершившимся негативным последствиям (количеству погибших, пострадавших от НС и профзаболевания и т.п.).

Законодательством также предусматривается право обращения страховой компанией в определенных случаях за помощью к экспертам в данной области для установления степени профессионального риска.

Экспертные методы идентификации опасностей и оценки рисков. В настоящее время в проблеме оценки опасностей и профессиональных рисков широкое распространение нашли различные экспертные методы. Особенную актуальность использование таких методов приобретает при отсутствии статистических данных по травматизму и профзаболеваемости, а также базовых показателей для определения риска расчетным путем. Основными задачами экспертов, которые, как правило, привлекаются из числа ведущих ученых или опытных практиков в этой области, являются: идентификация опасностей и объективная оценка профессиональных рисков работников на основе характеристик производственного процесса и среды, существующей организации труда и других факторов, включая и критериальную оценку по степени приемлемости и недопустимости; оценку используемых мероприятий и технических средств по их эффективности защиты работников; документирование всех проведенных процедур.

Экспертные методы идентификации опасностей и оценки рисков при всей своей простоте и понятности характеризуются большой степенью зависимости результатов такой идентификации от субъективного мнения конкретных лиц, привлеченных в качестве экспертов. В связи с этим такие методы недостаточны для полноценного исследования фактического состояния БиОТ на производстве. Накопленный опыт в сфере ПБ показывает, что достоверная и полная информация об условиях труда и уровнях профессиональных рисков не может быть получена без проведения инструментальных замеров значений показателей ОВПФ производственной среды.

Матричные методы оценки профессиональных рисков. Прямая количественная оценка уровней профессиональных рисков может быть реализована через метод оценки рисков с применением матрицы «вероятность-ущерб». Суть этого метода состоит в том, что для каждой конкретной ситуации определяется ранг вероятности ее реализации — низкая, средняя или высокая (столбцы матрицы) — и потенциальный ущерб от ее возникновения — малый, средний, большой (строки матрицы). На пересечении соответствующего столбца и строки находится зона оптимума. Но и данному методу характерны недостатки вышеуказанных методик. Он отстранен от условий реального производства, не учитывает состояние производственной среды, производственного оборудования и т. п.

Методы оценки рисков на основе классификации условий труда на рабочих местах при проведении аттестации рабочих мест. В соответствии с п. 2 ст.183 Трудового кодекса РК работодатель обязан за счет собственных средств проводить периодическую, не реже чем 1 раз в 5 лет, аттестацию рабочих мест по условиям труда (далее АРМ) в соответствии с правилами, рекомендациями и методикой, утвержденными уполномоченным государственным органом в сфере трудовых отношений и промышленной безопасности [9]. Таким документом в РК являются «Правила обязательной периодической аттестации производственных объектов по условиям труда» от 28.12.2015 года [16]. Согласно указанным Правилам, аттестация рабочих мест и производственных объектов предприятий и организаций представляет собой комплексную оценку на соответствие правилам и нормативам в сфере БиОТ и включает в себя следующие этапы: инструментальные измерения и оценка уровней вредности и опасности труда; инструментальные измерения и оценка уровней тяжести и напряженности труда; оценка уровня травмобезопасности и обеспеченности работников средствами коллективной и индивидуальной защиты; обеспеченность средствами обучения и инструктажа.

Объектом изучения при АРМ является система «производственная среда – технологическое оборудование – работник». Производственная среда анализируется со стороны присутствия в ней физических, химических, биологических, психофизиологических ОВПФ, технологическое оборудование — по уровню безопасности производственного процесса в целом, а работник — по показателям тяжести и напряженности труда, которые позволяют судить о состоянии его здоровья на рабочем месте.

При полном отсутствии ОВПФ на рабочих местах или при их наличии, но соответствия фактических уровней санитарно-гигиеническим нормам и требованиям безопасности (например, ПДК, ПДУ), а также при выполнении требований по травмобезопасности и обеспеченности работников СИЗ, резюмируется, что условия безопасности труда на рабочих местах соответствуют установленным требованиям БиОТ в соответствии со ст.

184 Трудового кодекса РК и они могут быть отнесены, согласно Гигиеническим критериям оценки и классификации условий труда, ко 2-му (допустимому) классу условий труда [17].

Рабочие места считаются не удовлетворяющими установленным требованиям БиОТ при наличии на них одного из следующих факторов или их совокупности:

— фактические значения каких-либо вредных факторов превышают существующие требования и нормы;

— не соблюдаются требования по травмобезопасности рабочих мест;

— обеспеченность работников СИЗ не соответствует действующим нормам.

В зависимости от того, насколько уровни фактических значений ОВПФ превышают существующие нормы, условия труда, согласно Гигиенических критериев, должны быть отнесены к следующим классам условий труда: 3.1; 3.2; 3.3; 3.4 и 4, а в последующем разработаны мероприятия по их предупреждению или локализации [17].

Таким образом, АРМ охватывает все главные составляющие производственного процесса (работников – оборудование – производственную среду), а по ее итогам служба БиОТ предприятия может с успехом оценить профессиональные риски своих работников. Другим преимуществом этого метода является то, что, используя ее, можно оценить возможные опасности и профессиональные риски «до» возникновения негативных инцидентов и предпринять меры по их предупреждению, в отличие от других рассмотренных методик, ориентированных на такую оценку «после» произошедших инцидентов, основанных на анализе уже погибших, получивших травмы работников, случившихся авариях и т.п.

Однако и методам оценки рисков на основе АРМ также присущ ряд недостатков, а именно:

— проведение такой аттестации является достаточно дорогостоящим мероприятием, и, хотя оно законодательно вменено в обязанности работодателей, последние при любой возможности уклоняются от такого проведения, чему способствуют принятые на протяжении последних лет ограничения в осуществлении надзорных функций в области ПБ со стороны Комитета промышленной безопасности МЧС РК вследствие объявленного Президентом РК в 2014 году моратория на проверки субъектов малого и среднего бизнеса и продленного до 1 января 2023 года;

— формальное проведение аттестации, недостоверность полученных результатов. АРМ занимаются аккредитованные организации, с которыми работодатель заключает договор на ее проведение, но, как гласит поговорка, «кто платит деньги, тот и заказывает музыку», поэтому в полученных результатах такие организации отражают не фактическое положение дел, а пожелания работодателя. Доходит до того, что ряд аккредитованных в вопросах проведения АРМ организаций даже не имеют в своем составе специализированных лабораторий и материального оборудования, в связи с чем Министерство труда и соцзащиты РК ввело ограничения на проведение аттестации рабочих мест по условиям труда организациями, не имеющими собственных аккредитованных лабораторий, и инициировало механизм лишения их соответствующей лицензии;

— все указанные обстоятельства предопределяют не только трудности, но и невозможность объективной оценки профессиональных рисков на основе недостоверных результатов АРМ.

Выводы. Проведенный анализ существующих подходов и методов к оценке опасностей и профессиональных рисков работников промышленных предприятий в Республике Казахстан позволил сделать следующие выводы:

— главным аспектом в решении данной проблемы является проведение предварительного этапа и характера такой оценки, т.е. такого механизма, который позволяет проводить оценку рисков «до» возникновения негативных событий, а не «после» их возникновения (НС, аварий и т.п.);

— в настоящее время среди ученых и практиков нет единого подхода к категории профессионального риска, механизму его идентификации и измерения. Само содержание или наполнение понятия риска может меняться в зависимости от специфики профессии работника, характера выполняемой работы и т.п.;

— рассмотренным нормативным и предлагаемым различными авторами методам или подходам к оценке профессиональных рисков присущи те или иные недостатки. Например, одни из них ограничиваются только оценкой состояния отдельных рабочих мест и не учитывают размеры возможных аварий (методика определения уровня ПБ по показателю аварийности), другие характеризуются определенным субъективизмом (экспертные методы), часть методов имеет отвлеченный характер и не использует в ходе такой оценки

достаточных фактических статистических данных (матричные методы), некоторые сложны в применении (нормативные и вероятностные методы оценки);

— результаты проведенного анализа различных подходов к оценке профессиональных рисков свидетельствуют о том, что ни один из них в отдельности не обеспечивает объективности и условия «предварительности» такой оценки, т.е. до возникновения негативных событий, за исключением двух из них: «Правил управления профессиональными рисками» и «Правил обязательной периодической аттестации производственных объектов по условиям труда». Однако и последние требуют своего совершенствования;

— поиск и разработка новых способов и методов оценки профессионального риска, обладающих достаточной простотой и достоверностью при применении в условиях реального производства, предупреждающих возникновение травматизма работающих, а в целом и техногенных аварий достаточно актуальны.

Библиографический список

1. Сурова, Л. В. Теоретические основы исследования опасностей / Л. В. Сурова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. — 2013. — № 2 (17). — С. 50–63. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-osnovy-issledovaniya-opasnostey (дата обращения : 10.02.2022).

2. Официальная статистика. По отраслям. Статистика здравоохранения. Динамические таблицы. Показатели травматизма / Бюро национальной статистики Агенства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан // stat.gov.kz : [сайт]. — URL: https://stat.gov.kz/official/industry/63/statistic/8 (дата обращения : 10.02.2022).

3. Итоги работы за 2020, 2021 гг. / Официальный сайт Комитета промышленной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. Департамент промышленной безопасности // gov.kz : [сайт]. — URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/kpb/documents/details/ 198142?lang=ru (дата обращения : 10.02.2022).

4. Безопасность и охрана труда 2020 год. / Официальный сайт Комитета труда, социальной защиты и миграции Министерства труда и социальной защиты населения РК // gov.kz : [сайт]. — URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/lspm/activities/292?lang=ru (дата обращения : 10.02.2022).

5. Бондарь, В. А. Управление надежностью и риском в системе принятия экспертных решений / В. А. Бондарь // Известия МГТУ МАМИ. — 2013. — Т. 2, № 3 (17). — С. 145–154.

6. Панфилова, Э. А. Понятие риска: многообразие подходов и определений / Э. А. Панфилова // Теория и практика общественного развития. — 2010. — №4. — С. 30–34.

7. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) / С. В. Белов. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2017. — 702 с.

8. Русак, О. Н. Безопасность жизнедеятельности: уч. пос. / О. Н. Русак, К. Р. Малаян, Н. Г. Занько. — 11-е изд., стер., под ред. О. Н. Русака. — Санкт-Петербург : Лань, Москва : Омега-Л, 2007. — 447 с.

9. Трудовой кодекс Республики Казахстан от 23 ноября 2015 года № 414-V ЗРК // www.enpf.kz : [сайт]. — URL: https://www.enpf.kz/upload /medialibrary/120/12050443b6d98dd8d7e53e6dd078a93a.pdf (дата обращения : 11.02.2022).

10. Приказ и.о. министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 26 декабря 2014 года № 300 «Об утверждении Правил определения общего уровня опасности опасного производственного объекта». Приказ Министра по инвестициям и развитию РК от 26 декабря 2014 года № 300 / Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан // adilet.zan.kz : [сайт]. — URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010242 (дата обращения : 11.02.2022).

11. Совместный Приказ Министра по инвестициям и развитию РК от 15 декабря 2015 года №1206 и Министра национальной экономики РК от 28 декабря 2015 года №814 «Об утверждении критериев оценки степени риска и проверочных листов в области промышленной безопасности» / Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан // adilet.zan.kz : [сайт]. — URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500012687 (дата обращения : 12.02.2022).

12. Приказ Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью РК от 1 октября 2013 года №46 «Методические рекомендации по управлению рисками на

опасных производственных объектах» / ЮРИСТ // online.zakon.kz/lawyer : [сайт]. — URL: https://online.zakon.kz/Document/ ?doc_id=31466319 (дата обращения : 12.02.2022).

13. Приказ Министра труда и социальной защиты населения Республики Казахстан от 11 сентября 2020 года № 363 «Об утверждении Правил управления профессиональными рисками» / Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан // adilet.zan.kz : [сайт]. — URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2000021197 (дата обращения : 11.02.2022).

14. Закон Республики Казахстан от 7 февраля 2005 года №30 «Об обязательном страховании работника от несчастных случаев при исполнении им трудовых (служебных) обязанностей» / Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан // adilet.zan.kz : [сайт]. — URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z050000030_ (дата обращения : 12.02.2022).

15. Постановление Правительства Республики Казахстан от 30 июня 2005 года № 652 «Об утверждении Правил отнесения видов экономической деятельности к классам профессионального риска» / Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан // adilet.zan.kz : [сайт]. — URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P050000652_ (дата обращения: 11.02.2022).

16. Приказ Министра здравоохранения и социального развития Республики Казахстан от 28 декабря 2015 года № 1057 «Об утверждении Правил обязательной периодической аттестации производственных объектов по условиям труда» / Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан // adilet.zan.kz : [сайт]. — URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500012743 (дата обращения : 12.02.2022).

17. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» / ЮРИСТ // online.zakon.kz/lawyer : [сайт]. — URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30506391 (дата обращения : 11.02.2022).

Поступила в редакцию 15.02.2021
Поступила после рецензирования 15.03.2022
Принята к публикации 16.03.2022

Об авторе:

Ширванов Рашид Булатович, доцент кафедры «Экология и биотехнология» Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета (090006, Республика Казахстан, г. Уральск, пр. Н. Назарбаева, 208), кандидат технических наук, доцент, ORCID, wirvanov@mail.ru.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ







Научная статья
УДК 331.45
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-24-30

Анализ производственного травматизма в строительной индустрии и пути его снижения

С. Л. Пушенко, В. Л. Гапонов, В. А. Кукареко
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. В строительной отрасли в последнее время наблюдается положительная тенденция по снижению показателей травматизма. Авторами определены специфические условия строительных работ, как источника возникновения предпосылок происшествий. Проведен анализ статистической выборки данных о несчастных случаях и производственном травматизме в строительной отрасли, который показывает, что источниками подавляющего большинства случаев производственного травматизма являются устранимые факторы.
Постановка задачи. Задачей данного исследования является определение зависимости между частотой несчастных случаев на строительном производстве и факторами, связанными с образованием и квалификацией работников.
Теоретическая часть. В качестве базовой информации использованы данные статистической отчетности о случаях производственного травматизма, предоставляемые Федеральной службой государственной статистики, а также материалы литературных источников отечественных и зарубежных авторов. Предложена методика комплексной оценки квалифицированности персонала.
Выводы. Определены функциональные зависимости частоты несчастных случаев на предприятии от критерия квалифицированности персонала. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что уровень образования сотрудников строительных предприятий, соответствие их базового образования профилю деятельности предприятия и частота повышения квалификации положительно влияют на общее состояние системы безопасности труда на предприятии, в том числе на снижение количества несчастных случаев.

Ключевые слова: охрана труда, строительная индустрия, производственный травматизм, профессиональный риск, несчастные случаи на производстве, опасные и вредные факторы.

Для цитирования: Пушенко, С. Л. Исследование эффективности алюминиевых элементов пассивной безопасности в автомобиле на основе компьютерного моделирования / С. Л. Пушенко, В. Л. Гапонов, В. А. Кукареко // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 2. — С. 24–30. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-24-30

Original article

Analysis of occupational injuries in the construction industry and ways to reduce it

S. L. Pushenko, V. L. Gaponov, V. A. Kukareko
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. In the construction industry, there has recently been a positive trend towards a decrease in injury rates. The authors have identified the specific conditions of construction work as a source of occurrence of prerequisites for accidents. The paper provides the analysis of a statistical sample of data on accidents and occupational injuries in the construction industry, which shows that the sources of the vast majority of cases of industrial injuries are avoidable factors.
Problem Statement. The objective of this study is to determine the relationship between the accident rate in the construction industry and several factors related to the education and qualifications of employees.

Theoretical Part. As the basic information, the data of statistical reporting on occupational injuries provided by the Federal State Statistics Service, as well as materials from literary sources of domestic and foreign authors, were used. The method of complex assessment of the qualification of personnel is proposed.

Conclusions. Functional dependences of the frequency of accidents at the enterprise on the criterion of qualification of personnel are determined. Based on the results obtained, it can be concluded that the level of education of employees of construction enterprises, the correspondence of their basic education to the profile of the enterprise's activities and the frequency of professional development positively affect the overall state of the occupational safety system at the enterprise, including the reduction in the number of accidents.

Keywords: occupational safety, construction industry, occupational injuries, occupational risk, accidents at work, dangerous and harmful factors.

For citation: Pushenko S. L., Gaponov V. L., Kukareko V. A. Analysis of occupational injuries in the construction industry and ways to reduce it. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2022;2:24−30. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-24-30

Введение. Одной из наиболее важных и сложных проблем в строительной индустрии является обеспечение безопасности труда работников, так как строительство входит в число отраслей промышленности, деятельность которых связана с вредными и опасными условиями труда. Однако в Российской Федерации показатели производственного травматизма в строительной отрасли на протяжении последних лет остаются на недопустимо высоком уровне. Статистические данные по производственному травматизму в строительной индустрии обосновывают актуальность снижения травмирования работников в данной отрасли. Состояние условий и охраны труда зачастую остаются неудовлетворительными, а число работающих во вредных условиях продолжает расти. При этом неблагоприятные условия труда порождают высокий уровень производственного травматизма и профессиональных заболеваний.

Постановка задачи. Задачей данного исследования является определение зависимости коэффициента частоты несчастных случаев на строительном производстве от совокупности факторов, определяющих уровень образования и квалификации работников.

Теоретическая часть. Охрана труда на предприятии направлена на сохранение жизни и здоровья работников, а также на профилактику профессиональных заболеваний и предотвращение несчастных случаев, которые могут привести к производственному травматизму [1]. В соответствии со ст. 212 ТК РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 29.12.2020) работодатель обязан обеспечить работникам безопасные условия труда [2]. Однако в практической деятельности состояние условий и охраны труда на предприятии часто остается неудовлетворительным, а число работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, продолжает расти.

Для анализа статистических наблюдений в строительной отрасли необходимо рассмотреть, какие виды работ, характеризующиеся вредными и опасными условиями труда, оказывают наибольшее влияние на работников. В табл. 1 представлены сведения по удельному весу работников строительной отрасли, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, на тяжелых работах и работах, связанных с напряженностью трудового процесса за 2016–2020 гг. в соответствии с данными Федеральной службы государственной статистики [3].

Таблица 1

Удельный вес работников строительной отрасли, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, на тяжелых работах и работах, связанных с напряженностью трудового процесса за 2016–2020 гг.

Пол работников	Удельный вес работников по годам, %				
	2016	2017	2018	2019	2020
Работы с вредными и (или) опасными условиями труда					
Мужской	42,1	41,2	40,8	44,0	41,3
Женский	15,9	14,2	13	12,3	10,6
Тяжелые работы					
Мужской	24,1	24,7	25,3	27,7	26,7
Женский	7,9	7,6	6,6	6,7	6,0
Работы, связанные с напряженностью трудового процесса					
Мужской	8,2	7	4,9	4,7	4,3
Женский	2,4	1,6	1,2	1,0	1,0

По данным табл. 1, можно заключить: средний удельный вес работников строительной отрасли, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, в 2016 г. составил 37,9 %, в 2017 г. — 37,0 %, в 2018 г. — 36,7 %, в 2019 г. — 39,4 %, в 2020 г. — 36,9 %, т. е. в период 2016–2019 гг. имелась тенденция к увеличению данного показателя, а в 2020 г. он уменьшился. Средний удельный вес работников строительной отрасли, занятых на тяжелых работах, в 2016 г. составил 21,5 %, в 2017 г. — 22,1 %, в 2018 г. — 22,5 %, в 2019 г. — 24,7 %, в 2020 г. — 23,8 %, ситуация схожа с предыдущим показателем. Средний удельный вес работников строительной отрасли, занятых на работах, связанных с напряженностью трудового процесса, в 2016 г. составил 7,3 %, в 2017 г. — 6,2 %, в 2018 г. — 4,3 %, в 2019 г. — 4,2 %, в 2020 г. — 3,8 %, т. е. сохраняется тенденция к снижению данного показателя. Процентное соотношение мужчин и женщин, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, за исследуемый период сохраняется приблизительно на одном уровне. Таким образом, в последние годы процент работников, связанных с вредными и (или) опасными условиями труда, а также с тяжелой работой, лишь увеличивался, однако в 2020 г. ситуация стала немного меняться в лучшую сторону.

Неблагоприятные условия труда порождают профессиональные заболевания и высокий уровень производственного травматизма, который является одним из основных показателей, характеризующих профессиональный риск на рабочем месте [4–6]. В Российской Федерации в целом уровень производственного травматизма на протяжении последних лет остается довольно высоким, однако прослеживается тенденция к его снижению. В табл. 2 приведены данные Федеральной службы государственной статистики по производственному травматизму в Российской Федерации за 2016–2020 гг.

Таблица 2

Данные о производственном травматизме в Российской Федерации
за 2016–2020 гг.

Пол работников	Показатели по годам				
	2016	2017	2018	2019	2020
Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве, тыс. чел.					
Мужской	18,6	17,6	16,6	16,3	14,4
Женский	8,1	7,8	7,0	7,0	6,1
Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве со смертельным исходом, тыс. чел.					
Мужской	1,21	1,07	1,00	0,99	0,85
Женский	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07
Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве на 1000 работающих (коэффициент частоты несчастных случаев)					
Мужской	1,6	1,6	1,5	1,4	1,2
Женский	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7
Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве на 1000 работающих со смертельным исходом					
Мужской	0,103	0,094	0,089	0,087	0,072
Женский	0,009	0,008	0,008	0,007	0,008

Согласно данным табл. 2 численность пострадавших при несчастных случаях на производстве в 2016 г. составила 26,7 тыс. чел., в 2017 г. — 25,4 тыс. чел., в 2018 г. — 23,6 тыс. чел., в 2019 г. — 23,3 тыс. чел., в 2020 г. — 20,5 тыс. чел. Из них со смертельным исходом в 2016 г. — 1,29 тыс. чел., в 2017 г. — 1,14 тыс. чел., в 2018 г. — 1,07 тыс. чел., в 2019 г. — 1,06 тыс. чел., в 2020 г. — 0,91 тыс. чел. Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве на 1000 работающих в 2016 г. составила 1,3, в 2017 г. — 1,3, в 2018 г. — 1,2, в 2019 г. — 1,2, в 2020 г. — 1,0. Из них со смертельным исходом в 2016 г. — 0,062, в 2017 г. — 0,056, в 2018 г. — 0,054, в 2019 г. — 0,053, в 2020 г. — 0,045. Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве за исследуемый период остается практически на одинаковом уровне, однако прослеживается тенденция к снижению. Процентное соотношение мужчин и женщин, пострадавших при несчастных случаях на производстве, сохраняется приблизительно на одном уровне.

Число человеко-дней нетрудоспособности у пострадавших на производстве сохраняется на одном уровне и составило на одного пострадавшего в 2016 г. — 49,0, в 2017 г. — 48,7, в 2018 г. — 49,3, в 2019 г. — 50,6, в 2020 г. — 49,9.

Израсходовано средств на мероприятия по охране труда в расчете на одного работающего в 2016 г. — 11479,8 руб., в 2017 г. — 12964,7 руб., в 2018 г. — 14246,4 руб., в 2019 г. — 14862,4 руб., в 2020 г. — 18825,3 руб., т. е. происходит постепенное увеличение данного показателя.

Из табл. 2 следует, что в последние годы наблюдается снижение травматизма в Российской Федерации в целом, однако в то же время частота несчастных случаев на производстве остается практически на одном уровне. При нынешних официальных показателях производственного травматизма в Российской Федерации очевидна актуальность повышения безопасности труда в строительной отрасли.

По данным Федеральной службы по труду и занятости РФ проведен анализ производственного травматизма в РФ, согласно которому наиболее значимая причина травмирования — неудовлетворительная организация производства работ, вследствии чего происходит треть (32,4 %) несчастных случаев. По данной причине увеличивается влияние человеческого фактора на возникновение аварий и других происшествий на производстве: неудовлетворительная организация производства работ, несовершенство технологического процесса, недостатки в организации и проведении подготовки работников по охране труда, неудовлетворительное содержание и недостатки в организации рабочих мест и др [7, 8]. Для решения задачи настоящего исследования авторами предлагается ввести следующие параметры, связанные с уровнем образования и квалификацией сотрудников:

1. Коэффициент соответствия базового образования (специальности, направления подготовки) сотрудников предприятия занимаемым должностям α. Вычисляется по формуле:

$$\alpha = \frac{K_0}{K} \times 100\%\,,$$

где K_0 — количество работников с соответствующим базовым образованием; K — общее количество работников.

2. Коэффициент уровня образования сотрудников предприятия β'. Предлагается ввести следующую шкалу уровня образования:

- неполное среднее — 1;
- полное среднее (школа) — 2;
- среднее профессиональное — 3;
- неполное высшее — 4;
- полное высшее — 5.

Коэффициент β' вычисляется по формуле:

$$\beta' = \frac{\beta}{5\sum_{i=1}^{5} x_i} \times 100\%\,,$$

где x_i — количество сотрудников с соответствующим уровнем образования. Параметр β вычисляется по формуле:

$$\beta = 1x_1 + \ldots + 5x_5.$$

3. Коэффициент повышения квалификации сотрудниками строительного предприятия γ'. Специалисты в области строительства должны проходить повышение квалификации не реже одного раза в пять лет (ст. 55.5-1 Градостроительного кодекса РФ) [9]. Поскольку это требование является минимумом по данному параметру, примем следующую шкалу: повышение квалификации 1 раз в 5 лет — 1; 2 раза — 2; 3 раза — 3; 4 раза — 4; 5 раз — 5. Коэффициент γ' вычисляется по формуле:

$$\gamma' = \frac{\gamma}{5\sum_{j=1}^{5} x_j} \times 100\%,$$

где x_j — количество сотрудников, прошедших повышение квалификации соответствующее количество раз. Параметр γ вычисляется по формуле:

$$\gamma = 1x_1 + \ldots + 5x_5.$$

Обобщенная функция квалифицированности персонала компании Δ вычисляется по формуле:

$$\Delta = \frac{\alpha + \beta' + \gamma'}{3}.$$

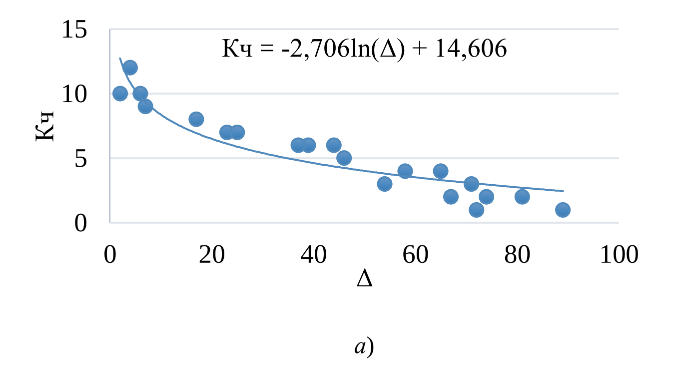
Данная функция была вычислена для данных, предоставленных двадцатью предприятиями строительной отрасли Юга России. Авторами в табл. 3 обобщены данные за 2016–2020 гг.

Таблица 3

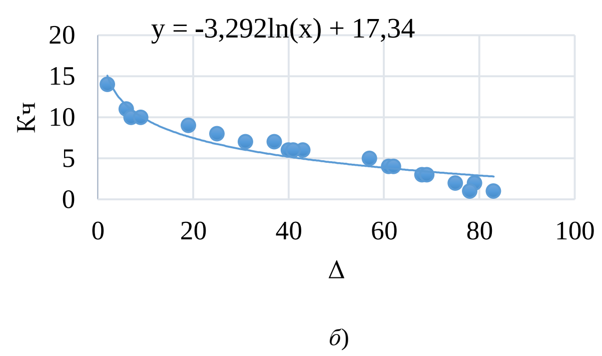
Данные предприятий строительной отрасли за 2016–2020 гг.

Номер предприятия	2016		2017		2018		2019		2020	
	Кол-во несчастных случаев	Δ, %	Кол-во несчастных случаев	Δ, %	Кол-во несчастных случаев	Δ, %	Кол-во несчастных случаев	Δ, %	Кол-во несчастных случаев	Δ, %
1	2	72	2	75	2	71	1	87	2	70
2	4	53	3	68	1	85	4	51	3	69
3	10	1	10	6	8	12	12	5	13	5
4	6	44	5	41	6	28	8	15	5	42
5	4	65	3	67	4	38	2	73	6	37
6	1	89	1	83	3	68	1	91	1	87
7	2	74	4	61	1	77	4	68	2	73
8	5	46	6	43	5	41	4	46	6	32
9	3	71	2	79	4	45	3	66	5	58
10	6	39	7	37	8	17	7	27	9	22
11	2	81	4	62	3	57	1	84	3	75
12	12	4	14	2	13	3	13	1	14	1
13	7	23	8	25	7	22	5	38	7	26
14	4	58	5	57	3	57	5	54	5	68
15	8	17	9	19	9	14	10	8	9	16
16	6	37	6	42	6	24	6	33	6	31
17	10	6	11	6	11	5	12	3	11	8
18	7	26	8	31	9	8	7	24	5	46
19	8	6	10	9	10	6	9	12	8	23
20	3	67	1	78	1	74	1	85	1	82

Далее представляется возможным установить связь коэффициента частоты несчастных случаев $К_ч$ с обобщенной функцией Δ, характеризующей квалифицированность персонала компании. Результаты расчета таких зависимостей представлены на рис 1.



а)



б)

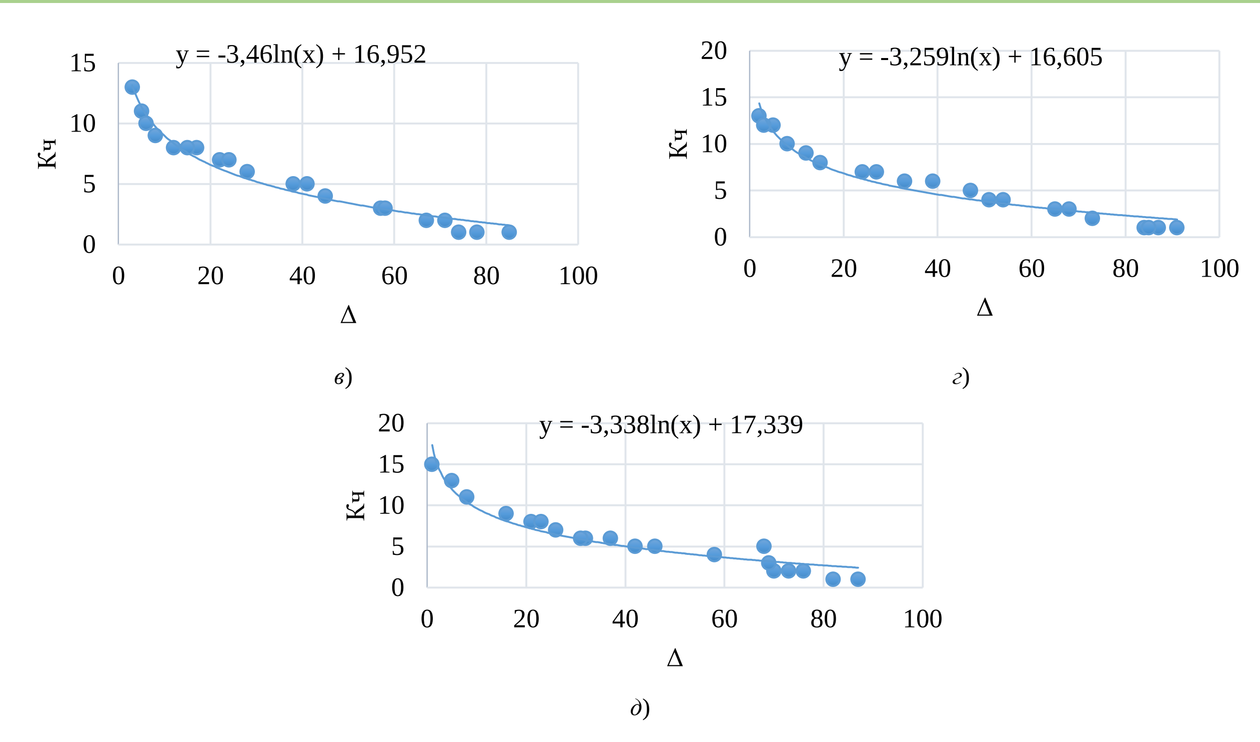


Рис. 1. Зависимость коэффициента частоты несчастных случаев от образования и квалификации сотрудников за 2016 г. (*а*), 2017 г. (*б*), 2018 г. (*в*), 2019 г. (*г*), 2020 г. (*д*)

Выводы. Разработана методика комплексной оценки квалифицированности персонала, в результате чего представляется возможным устанавливать функциональные зависимости критерия такой оценки с частотой несчастных случаев на предприятии. Методика апробирована на примере ряда предприятий строительной отрасли.

Уровень образования сотрудников строительных предприятий, соответствие их базового образования профилю деятельности предприятия и частота повышения квалификации положительно влияют на общее состояние системы безопасности труда, в том числе на снижение количества несчастных случаев в соответствии с определенными функциональными зависимостями, характерными для каждого предприятия.

Рекомендуется руководителям предприятий проводить оценку состояния квалифицированности персонала руководствуясь обобщенным критерием этого состояния, прогнозировать вероятностную частоту несчастных случаев и принимать соответствующие решения по модернизации СУОТ в направлениях:
осуществлять прием на работу специалистов соответствующего уровня; стимулировать сотрудников к повышению квалификации, повышению уровня образования, целевому обучению в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 13 октября 2020 г. № 1681 "О целевом обучении по образовательным программам среднего профессионального и высшего образования" (с изменениями и дополнениями); учитывать достигнутый уровень квалификации при принятии кадровых решений.

Библиографический список

1. Айзман, Р. И. Теоретические основы безопасности жизнедеятельности / Р. И. Айзман, С. В. Петров, В. М. Ширшова. — Новосибирск : АРТА, 2011. — 208 с.

2. Трудовой Кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 22.11.2021) : федер. закон : [принят Государственной Думой 21.12.2001] // www.consultant.ru : [сайт]. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/78f36e7afa535cf23e1e865a0f38cd3d230eecf0/ (дата обращения : 24.12.2021).

3. Условия труда // rosstat.gov.ru : [сайт]. — URL: https://www.gks.ru/working_conditions. (дата обращения : 24.12.2021).

4. Басараб, А. О системном контроле состояния охраны труда и промышленной безопасности в строительных организациях / А. О. Басараб // Безопасность труда в промышленности. — 2017. — №11. — С. 58–65.

5. Поташник, Я. С. Планирование воздействия на риски промышленных предприятий / Я. С. Поташник, С. Н. Кузнецова // Экономика: вчера, сегодня, завтра. — 2018. — № 12. — С. 292–298.

6. Хоменко, А. О. Актуальные вопросы применения риск-ориентированного подхода к охране труда / А. О. Хоменко // Социально-трудовые исследования. — 2019. — № 1. — С. 100–110.

7. Феоктистова, О. Г. Экономический механизм снижения травматизма и профзаболеваний в строительной отрасли / О. Г. Феоктистова, Е. Г. Костюченко // Вестник Алтайской академии экономики и права. — 2019. — № 3. — С. 121–128.

8. Минько, В. М. Оптимизация организации проведения контроля состояния охраны труда на строительной площадке / В. М. Минько, А. Басараб // Безопасность жизнедеятельности. — 2019. — № 7. — С. 3–6.

9. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 06.12.2021) : федер. закон : [принят Государственной Думой 22.12.2004] // www.consultant.ru : [сайт]. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/bfdc9626981ceab8fdf5d2b816c5d8eb888a97c0/ (дата обращения : 24.12.2021).

Поступила в редакцию 01.03.2022
Поступила после рецензирования 22.03.2022
Принята к публикации 23.03.2022

Об авторах:

Пушенко Сергей Леонардович, заведующий кафедрой «Производственная безопасность» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), доктор технических наук, профессор, ORCID, slpushenko@yandex.ru.

Гапонов Владимир Лаврентьевич, декан факультета «Энергетика и нефтегазопромышленность», профессор кафедры «Производственная безопасность» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Страна Советов, 1), доктор технических наук, профессор, v.gaponov6591@yandex.ru.

Кукареко Валерия Александровна, аспирант кафедры «Производственная безопасность» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), valeri1394@yandex.ru.

Заявленный вклад соавторов:

С. Л. Пушенко — научное руководство, анализ результатов исследований, корректировка выводов; В. Л. Гапонов — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста; В. А. Кукареко — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ







Научная статья
УДК 331.45:349
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-31-35

Обзор изменений в законодательстве, устанавливающем требования к оценке профессиональных рисков на предприятии

Е. И. Бахонина, В. А. Насибуллина
Уфимский государственный нефтяной технический университет (г. Уфа, Российская Федерация)

Введение. В данной работе проведен анализ требований к оценке профессиональных рисков на предприятии. Указанная процедура до недавнего времени фактически не имела под собой необходимой законодательной базы, поэтому авторы статьи предлагают подробно рассмотреть ключевые изменения в нормативно-правовом регулировании охраны труда, которые коснулись вопросов управления профессиональными рисками.
Постановка задачи. Задачей данного исследования является детальное рассмотрение нововведений в сфере охраны труда, вступивших в силу с 1 марта 2022 года.
Теоретическая часть. В качестве базовой информации для исследования был использован Трудовой кодекс Российской Федерации.
Выводы. Полученные результаты проведенного анализа свидетельствуют о необходимости создания эффективных инструментов для нормативного регулирования процедуры оценки профессиональных рисков.

Ключевые слова: охрана труда, риск, процедура оценки профессиональных рисков, управление рисками, система управления охраной труда.

Для цитирования: Бахонина, Е. И. Обзор изменений в законодательстве, устанавливающем требования к оценке профессиональных рисков на предприятии / Е. И. Бахонина, В. А. Насибуллина // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 2. — С. 31−35. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-31-35

Original article

Overview of changes in legislation establishing the requirements for the assessment of occupational risks at the enterprise

E. I. Bakhonina, V. A. Nasibullina
Ufa State Petroleum Technical University (Ufa, Russian Federation)

Introduction. The paper analyzes the requirements for the implementation of occupational risk assessment at the enterprise. Until recently, this procedure did not actually have the necessary legislative basis, so the authors offer a detailed review of the key changes in the normative-legal regulation of occupational safety, which specifically touched upon the management of occupational risks.
Problem Statement. The purpose of this study is a detailed consideration of innovations in the field of the occupational safety, which came into force on March 1, 2022.
Theoretical Part. The Labor Code of the Russian Federation was used as the basic information for the study.
Conclusions. The results of the analysis indicate the need to create effective tools for the regulatory procedure of occupational risk assessment.

Keywords: occupational safety, risk, occupational risk assessment procedure, risk management, occupational safety management system.

For citation: Bakhonina E. I., Nasibullina V. A. Overview of changes in legislation establishing the requirements for the assessment of occupational risks at the enterprise. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2022;2:31−35. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-31-35

Введение. Как показывает международная и отечественная практика, любое производство — источник повышенной опасности, а ответственность за создание безопасных условий труда на нём целиком лежит на работодателе. Оценка рисков — один из наиболее эффективных инструментов для достижения этой цели [1, 2].

Постановка задачи. В настоящее время отсутствуют какие-либо требования к проведению оценки уровня профессиональных рисков. Организация имеет право проводить её как самостоятельно, так и заключив договор со специализированной организацией.

Однако основная проблема состоит в том, что регламенты по проведению оценки профессиональных рисков фактически отсутствуют, вследствие чего многие работодатели относятся к ней формально, подвергая опасности персонал своего предприятия.

В связи с этим возникла потребность оценить изменения, произошедшие в нормативном регулировании данного вопроса.

Теоретическая часть. Неотъемлемой частью производственной деятельности любого работодателя является система управления охраной труда (СУОТ), структура которой прописана в положении Минтруда № 776н от 29.10.2021.

Данное положение устанавливает общие требования к организации работы по охране труда на основе нормативно-правовых документов, принципов и методов управления. Функционирование СУОТ осуществляется посредством соблюдения государственных нормативных требований охраны труда, принятых обязательств и применения локальных документов при реализации процессов, предусмотренных разделами СУОТ [3, 4].

Одной из главных проблем СУОТ является то, что она подразумевает непосредственное реагирование на возникновение опасной ситуации, а не на её профилактику. По этой причине оценка потенциальных опасностей по показателям риска и разработка превентивных мер на основе этой оценки становятся первостепенными задачами управления безопасностью труда [5].

Под профессиональным риском в соответствии с Трудовым кодексом РФ принято понимать «вероятность причинения вреда здоровью в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов при исполнении работником обязанностей по трудовому договору или в иных случаях, установленных настоящим Кодексом и другими федеральными законами» [6].

Существует множество методов, с помощью которых можно определить уровень профессионального риска на предприятии: матричные, балльные, прямые, косвенные, списки контрольных вопросов, мозговой штурм (метод Дельфи) и т. д. Использование этих методов не было закреплено законодательно, поэтому работодатель вправе сам выбирать один из них либо разрабатывать методику в зависимости от специфики своего предприятия [7].

Оценка профессиональных рисков традиционно проводится в несколько этапов: идентификация опасностей, анализ рисков, в который входит определение уровня рисков, допустимости уровня рисков и необходимости принятия мер безопасности, выбор методов управления рисками и их реализация, повторный анализ рисков для проверки достижения допустимости уровня рисков.

Концепция управления профессиональными рисками на сегодняшний день является наиболее актуальной, так как позволяет минимизировать число несчастных случаев и профессиональных заболеваний на производстве [8].

В связи с этим роль оценки профессиональных рисков в качестве инструмента по повышению эффективности СУОТ возрастает и возникает необходимость в совершенствовании процедуры.

В рамках данного исследования был проведен анализ ключевых изменений по охране труда, коснувшихся оценки профессиональных рисков, которые вступили в силу с 1 марта 2022 года (табл. 1).

Таблица 1

Анализ ключевых изменений, коснувшихся оценки профессиональных рисков

Изменения	Суть изменений	Комментарии
Вступает в силу ФЗ № 311 от 02.01.2021 «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации», который вносит	ФЗ № 311 закрепляет такие понятия, как «требования охраны труда», «профессиональный риск», «управление профессиональными рисками».	Новая политика по охране труда запускает процесс переориентирования в сторону снижения количества опасностей на рабочем месте. Совершенно

Изменения	Суть изменений	Комментарии
корректировки в ряд положений ТК	Управление профессиональными рисками трактуется как комплекс взаимосвязанных мероприятий и процедур, являющихся элементами системы управления охраной труда и включающих в себя выявление опасностей, оценку профессиональных рисков и применение мер по снижению уровней профессиональных рисков или недопущению повышения их уровней, мониторинг и пересмотр выявленных профессиональных рисков [6]	закономерно, что для внедрения новой политики возникла необходимость законодательно закрепить её базисные понятия
Существенным изменениям подвергся раздел X Трудового кодекса РФ	Произошел так называемый переход к адресной политике [9]	Поправки, внесённые в раздел X ТК РФ, позволяют персонализировать систему управления охраной труда с помощью перехода к адресной политике, которая учитывает результаты оценки профессиональных рисков и, как следствие, индивидуальные особенности каждого рабочего места
Введены поправки в статью 209.1 ТК РФ	Согласно обновленной версии статьи 209.1, одним из основных принципов обеспечения безопасности труда будет являться снижение уровня профессионального риска на рабочем месте [9]	Легче предупредить причину, чем устранять последствия. Процедура оценки профессиональных рисков приобретет обязательный характер, поскольку в качестве одного из основных принципов обеспечения безопасности устанавливается её профилактика
Введены поправки в статью 214 ТК РФ	Согласно новой редакции статьи 214 ТК РФ работодатель обязан обеспечить систематическое выявление опасностей и профессиональных рисков, их регулярный анализ и оценку, расследование и учет несчастных случаев, учет и рассмотрение причин и обстоятельств микроповреждений (микротравм) [6]	Микроповреждения, полученные на рабочем месте, могут спровоцировать временную потерю трудоспособности, поэтому вести их учет, оформляя справку в качестве акта расследования, в интересах самого работодателя. Минтруд же советует каждому предприятию разработать свой локальный акт, содержащий порядок этого учета. Такая практика успешно применяется и позволяет предупредить несчастные случаи на многих иностранных предприятиях
Введены поправки в статью 214.1 ТК РФ	Согласно поправкам, работник по закону имеет полное право не приступать к своим трудовым обязанностям до устранения факторов профессионального риска	Лучше провести оценку профессиональных рисков непосредственно перед специальной оценкой условий труда, так как, если СОУТ выявит опасные условия труда 4 класса, работодателю придётся объявить простой с сохранением должности работника, а также его среднего заработка
Введены поправки в статью 214.2 ТК РФ	Работодатель теперь вправе вести видео- и аудиофиксацию на производстве для обеспечения	Иногда уровень профессионального риска на рабочем месте может повысить даже сам работник, не

Изменения	Суть изменений	Комментарии
	контроля за безопасностью проводимых работ	следуя предписаниям по охране труда. Благодаря видео- и аудиофиксации работодатель сможет непрерывно наблюдать за трудовым процессом, что позволит ему вовремя вмешаться, если будут допущены нарушения, избежав нежелательных последствий. Необходимо помнить, что применять данный способ можно строго с согласия, иначе работник сможет подать в суд по причине незаконного вторжения в его частную жизнь
Введены поправки в статью 218 ТК РФ	Риски теперь делятся (в зависимости от причины) на следующие категории: травмирование и приобретение профессиональных заболеваний	Не всегда представляется возможным понять, какой страховой случай произошел с работником. Травмирование в результате несчастного случая и профессиональные заболевания расследуются по-разному, если принять несчастный случай за профзаболевание и не сообщить о нем в течение суток, работодатель будет оштрафован. Разделение риска на категории позволит четко определить, какие меры необходимо предпринять для его управления в конкретном случае
Вступил в силу приказ Минтруда РФ № 796 от 28.12.2021, утверждающий рекомендации по выбору метода оценки уровня профессионального риска и по его снижению	Минтрудом разработаны рекомендации по выбору методики оценки профессиональных рисков. Рекомендации содержат критерии, процесс и этапы выбора необходимой методики, подборку применяемых в отечественной и зарубежной практике методик, а также примеры оценочных средств [8]	Методические рекомендации не будут иметь нормативного веса, работодатель всё ещё имеет право на самостоятельный выбор методики оценки в зависимости от специфики предприятия
Введены поправки в статью 221 ТК РФ	Изменился порядок выдачи средств индивидуальной защиты (СИЗ). По опыту зарубежных стран выдача будет происходить на основе результатов процедуры оценки профессиональных рисков [10]	Такой подход более эффективен, чем выдача по типовым нормам, так как количество СИЗ определяется в зависимости от реальных условий работы
Введены поправки в статью 218 ТК РФ	Анализ профессиональных рисков теперь необходимо проводить не только для действующих предприятий, но и для тех объектов, которые только собираются вводить в эксплуатацию	Это не что иное, как одна из превентивных мер, направленных на устранение опасности ещё на начальном этапе работы предприятия. У работодателя, который провел оценку профессиональных рисков ещё на этапе ввода производственного объекта в эксплуатацию, появляется возможность самостоятельно обнаружить и оперативно устранить все свои недочеты

Как видно по данным таблицы, тенденции в законодательстве явно стремятся к внедрению риск-ориентированного подхода.

Выводы. Вопрос об изменениях в законодательстве по охране труда назрел достаточно давно. Следует ожидать, что переходный период не произойдет одномоментно, он может занять от трех до пяти лет. Так, многие из перечисленных в работе поправок планировалось ввести ещё в 2021 году, однако до нынешнего года этого не было сделано.

Подобного рода изменения смогут дать толчок к формированию эффективной правовой основы, регламентирующей проведение такой процедуры, как оценка профессиональных рисков.

Библиографический список

1. Белов, П. Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование. В 3 ч. Часть 1 : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / П. Г. Белов. — Москва : Юрайт, 2019. — 211 с.

2. Белов, П. Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование. В 3 ч. Часть 2 : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / П. Г. Белов. — Москва : Юрайт, 2019. — 250 с.

3. Белов, П. Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование. В 3 ч. Часть 3 : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / П. Г. Белов. — Москва : Юрайт, 2019. — 272 с.

4. О концепции управления профессиональными рисками в сфере охраны здоровья и безопасности труда работников промышленных предприятий / И. П. Карначев, С. П. Левашев, Р. В. Шкрабак, А. А. Челтыбашев // Горный журнал. — 2018. — № 4. — С. 87–92.

5. Совершенствование системы управления охраной труда на основе концепции управления профессиональными рисками / Клинский институт охраны и условий труда : [сайт]. — URL: https://www.kiout.ru/info/publish/23468 (дата обращения : 23.02.2022).

6. Трудовой кодекс Российской Федерации : [принят Государственной Думой 21 декабря 2001 года, одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года] / КонсультантПлюс : [сайт]. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_34683/ (дата обращения : 14.03.2022).

7. Рекомендации по выбору метода оценки уровня профессионального риска и по снижению уровня такого риска : [утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28 декабря 2021 года, № 926] / КонсультантПлюс : [сайт]. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_406016/f88c3dad9920e0e07f06d712b97ac17a9f91c472/ (дата обращения : 23.02.2022).

8. Роль системы оценки профессиональных рисков в системе управления охраной труда в организации / М. А. Садовников, Д. В. Семин, Г. Г. Попов, А. А. Рыжкова // Техносферная безопасность. — 2019. — № 4 (48). — С. 101–105.

9. Шувалова, М. Охрана труда: ключевые изменения с 1 марта 2022 года / М. Шувалова // Гарант.ру : [сайт]. — URL: https://www.garant.ru/article/1486534/ (дата обращения : 23.02.2022).

10. Об утверждении Межотраслевых правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты : приказ Минздравсоцразвития России от 01.06.2009 № 290н (ред. от 12.01.2015) / Российская газета — Федеральный выпуск. — 25.09.2009 — № 181 (5005).

Поступила в редакцию 21.03.2021
Поступила после рецензирования 13.05.2022
Принята к публикации 13.05.2022

Об авторах:

Бахонина Елена Игоревна, доцент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, РФ, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, helenabaho@mail.ru.

Насибуллина Валерия Андреевна, студентка кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, РФ, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1), ORCID, valeriya005@inbox.ru.

Заявленный вклад соавторов:

Е. И. Бахонина — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов; В. А. Насибуллина — определение основной концепции, цели и задачи исследования, подготовка текста, формирование выводов.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ





Научная статья
УДК 504:351.77
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-36-42



Анализ и оценка безопасности при эксплуатации дробеструйного аппарата в литейном производстве

В. Я. Манохин[1], Л. Ф. Дроздова[2], Е. И. Головина[1], Д. А. Соколов[1]
[1]Воронежский государственный технический университет (г. Воронеж, Российская Федерация)
[2]Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Введение. Рассмотрены вредные факторы литейного производства. Авторы проводят анализ и дают оценку рабочего места оператора дробеструйной камеры и предлагают технические решения для улучшения условий труда и снижения развития профессиональных заболеваний.
Постановка задачи. Задача данного исследования — дать оценку степени воздействия шумового и пылевого загрязнения на производственных участках литейного производства.
Теоретическая часть. В процессе исследования выявлены наиболее загрязненные участки с превышением допустимых значений рассматриваемых показателей уровня шума и содержания пыли, это участки выбивных решеток и очистки литья. Были предложены мероприятия по улучшению обстановки, такие как организация акустики с учетом особенностей производственного помещения (акустические экраны, звукоизолирующие перегородки), подходящая площадь звукопоглощения помещений, улучшение звукопоглощения путем модернизации корпуса дробеструйной камеры.
Выводы. Результаты проведенного анализа свидетельствуют о достаточно высоком уровне влияния вредных производственных факторов на операторов дробеструйного участка литейного производства и о необходимости усиления охраны труда в рассматриваемой сфере.

Ключевые слова: шумовое загрязнение, вибрация, пыль, литейное производство, производственный участок, дробеструйное оборудование, акустика.

Для цитирования: Анализ и оценка безопасности при эксплуатации дробеструйного аппарата в литейном производстве / В. Я. Манохин, Л. Ф. Дроздова, Е. И. Головина, Д. А. Соколов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 2. — С. 36−42. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-36-42

Original article

Analysis and assessment of safety during operation of the shot blasting machine in the foundry

V. Ya. Manokhin[1], L. F. Drozdova[2], E. I. Golovina[1], D. A. Sokolov[1]
[1]Voronezh State Technical University (Voronezh, Russian Federation)
[2]Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov (St. Petersburg, Russian Federation)

Introduction. The article discusses the harmful factors of foundry production. The authors analyze and evaluate the workplace of the operator of the shot blasting chamber and offer technical solutions to improve working conditions and reduce the development of occupational diseases.

Problem Statement. The objective of this study is to assess the impact of noise and dust pollution on the production sites of the foundry.

Theoretical Part. In the course of the study, the most polluted areas were identified with the exceeding permissible values of the considered indicators of noise level and dust content. These are the areas of shake-out grids and casting cleaning. Measures to improve the situation were proposed, such as: organization of acoustics taking into account the characteristics of the production room (acoustic screens, soundproof partitions), a suitable sound absorption area of the premises, the improvement of sound absorption by upgrading the body of the shot blasting chamber.

Conclusions. The results of the analysis indicate a sufficiently high level of influence of harmful production factors on the operators of the shot blasting section of the foundry and the need to strengthen labor protection in this area.

Keywords: noise pollution, vibration, dust, foundry, production site, shot blasting equipment, acoustics.

For citation: Manokhin V. Ya., Drozdova L. F., Golovina E. I., Sokolov D. A. Analysis and assessment of safety during operation of the shot blasting machine in the foundry. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2022;2:36−42. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-36-42

Введение. Рассмотрено воздействие негативных факторов на работников литейных предприятий. Воздушная среда рабочей зоны операторов литейных цехов часто не соответствует санитарно-гигиеническим нормам. Это обусловлено сложностью технологических процессов и наличием вредных факторов. Наибольшее количество пыли, шума и вибрации производит оборудование, которое используется для обработки и шлифовки изделий дробеструйным методом.

Процесс дробеструйной зачистки дает возможность шлифовки литейных заготовок разной формы, однако этому технологическому процессу сопутствует возникновение большого количества пыли, которая создает угрозу для здоровья работающих. Комплексный подход к снижению содержания пыли и предупреждению профессиональных заболеваний может поэтапно решить задачу по созданию безопасных условий труда [1].

Контроль допустимого уровня шума и вибрации на производстве является очень сложным и финансово затратным мероприятием. Повышенные шум и вибрация считаются теми экологическими факторами, добиться соответствия которых нормативным величинам технически весьма сложно [2]. Большое количество профессиональных заболеваний, связанных с нарушением слуха, проявляются у рабочих спустя продолжительное время работы. Развитие серьезных проблем со слуховым нервом зависит от технологических процессов, при которых уровень шума превышает допустимые значения. Наибольшее воздействие повышенного шума отмечается на участках формовщиков, выбивальщиков форм, обрубщиков и чистильщиков литья для массового производства, где значения индекса загрязнения достигают 1,43–2,74 [3]. Данные занесены в табл. 1.

Таблица 1

Значение индекса загрязнения по шумовому фактору
на участках литейных цехов с различным характером шума

№ п/п	Профессия	Индекс загрязнения по шумовому фактору, Кш	Количество рабочих мест
1	Формовщик	1,43	3
2	Выбивальщик	2,74	2
3	Обрубщик	2,46	3
4	Чистильщик литья	2,67	1
5	Заливщик металла	0,79	4
6	Плавильщик металлов и сплавов	0,79	4
7	Шихтовщик	0,22	1
8	Наладчик литейных машин	0,45	1
9	Земледел	0,71	2

Постановка задачи. Первоначальной задачей данного исследования был анализ экспериментальных характеристик шумового загрязнения.

Результаты исследований уровня шума показали, что шумовое загрязнение значительно превышает установленные нормы. Наибольшие превышения допустимых уровней звука отмечаются на рабочих местах у стержневых и формовочных встряхивающих машин на 12–23 дБ, у выбивных решеток — на 17–26 дБ, у обрубочно-очистного оборудования — на 16–27 дБ [3, 4].

В соответствии с санитарными нормами установлены значения допустимых уровней звукового давления (табл. 2) [5].

Звуковое поле в зоне рабочих зон литейных цехов неоднородно. Это связано с разными режимами и временем работы производственного оборудования. Наиболее опасным является периодический режим работы с излучением максимального уровня шума в области средних и высоких частот.

Таблица 2

Допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах, в производственных помещениях и на территории предприятий

Вид трудовой деятельности	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Литейные цеха серийного производства отличаются тем, что меньший уровень автоматизации и механизации процессов позволяют выбрать наиболее рациональное и изолированное положение оборудования. Из этого следует, что основные методы защиты работников заключаются в рациональном размещении оборудования, организации правильной акустики помещений, установке звукоизоляционных экранов и усовершенствовании корпусов дробеструйного оборудования [6].

Второй задачей исследования стала разработка мероприятий по минимизации запыленности и обеспечению безопасных условий труда на самых запыленных участках литейного производства — дробеструйных.

Специальные мероприятия по использованию непрерывной технологии производства удаляют пыль сразу в местах ее появления, также препятствуют образованию и распространению пыли механизация и автоматизация процессов, разработка, установка и настройка системы дистанционного управления, герметизация и изоляция оборудования, системы приточно-вытяжной и вытяжной вентиляции [7].

В литейном цехе запыленный воздух проходит через систему пылеуловителей и затем поступает в атмосферу. Однако эффективность таких систем не является достаточной [4].

Теоретическая часть. Одним из основных вопросов исследования — вопрос о характеристиках источников излучаемого шума и пыли на обрубочно-очистных участках, имеющих самый высокий уровень шумового загрязнения.

Одним из основных и самых часто используемых методов обработки поверхности металлических заготовок является дробеструйная зачистка. Такой метод позволяет наиболее качественно отшлифовать литье, проводится он в дробеструйной камере.

На рис. 1 представлена схема дробеструйного участка [7].

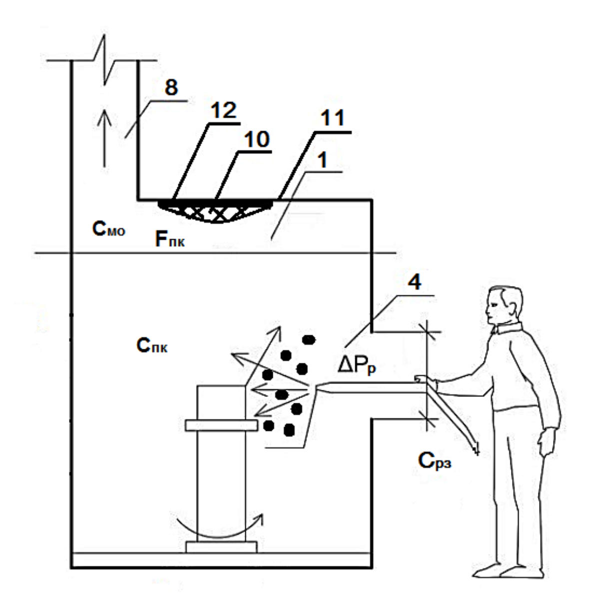


Рис. 1. Система дробеструйного участка литейного производства: 1 — дробеструйная камера; 2 — загрузочный сектор очищаемых деталей с герметичной дверцей; 3 — пульт управления; 4 — окно подачи дробеструйного аппарата; 5 — технологическое отверстие с герметичной крышкой для удаления дроби; 6 — магистраль сжатого воздуха; 7 — подача воздуха на форсунку; 8 — воздуховод; 9 — конический циклон очистки воздуха; 10 — ВДМ (вибродемпфирующий материал); 11 — конструкционный материал; 12 — ЗПМ (звукопоглощающий материал). Обозначения: Срз — концентрация в рабочей зоне, Спк — концентрация в пылевой камере, Смо — концентрация в местном отсосе, Fпк — площадь пылевой камеры, ΔPр — перепад давления при управлении

Дробеструйная очистка проходит в камере, которая представляет собой закрытую металлическую конструкцию размером 2000x2000x2500 мм, внутренняя поверхность ее выполнена из стального листа толщиной 3 мм и покрыта резиной толщиной 10 мм. В верхней части камера подсоединяется посредством патрубка диаметром 630 мм к местной вытяжной вентиляции, которая содержит циклон ЦН-11 [7].

Через окно подачи на поверхность изделия со скоростью 30 м/с попадает дробь, диаметр которой в среднем составляет 2 мм. Принцип действия простого нагнетательного дробеструйного аппарата основан на работе герметически закрываемого бака, в котором под давлением сжатого воздуха находится дробь. Под действием силы тяжести и давления сжатого воздуха дробь подается в камеру. При этом происходит извлечение шума повышенной интенсивности.

Размер запыленности в системе аспирации до пылеулавливающего оборудования составил около 6 г/м^3, в рабочей зоне — около 9 мг/м^3 [7]. Степень влияния пыли на здоровье человека зависит от ее гранулометрического состава. В легких в большей степени остаются частицы, размеры которых меньше 10 мкм. Класс опасности — 3, ПДК = 0,5 мг/м^3. Уровень загрязнения воздуха рабочей зоны формирует большое количество факторов, которые необходимо соблюдать. Это регулярный и качественный ремонт и обслуживание оборудования, создание эффективных режимов работы систем аспирации и оборудования для улавливания пыли [8].

Пыль после обработки поверхности металлических деталей дробью превращается в многокомпонентную, поэтому требуется разработка эффективных мер по очистке газовой пыли, в связи с этим исследование элементного и дисперсного составов частиц пыли считается актуальным. Для оценки частиц пыли по размеру использовался гранулометрический анализ [3]. Плотность распределения частиц и их размер влияют на свойства пылевидных материалов. Состав пыли был определен на лазерном анализаторе частиц фирмы Fritsch NanoTec, модель Analisette-22, с использованием программного обеспечения (ПО) Fritsch Mas control. Полученные данные отражены на рис. 2.

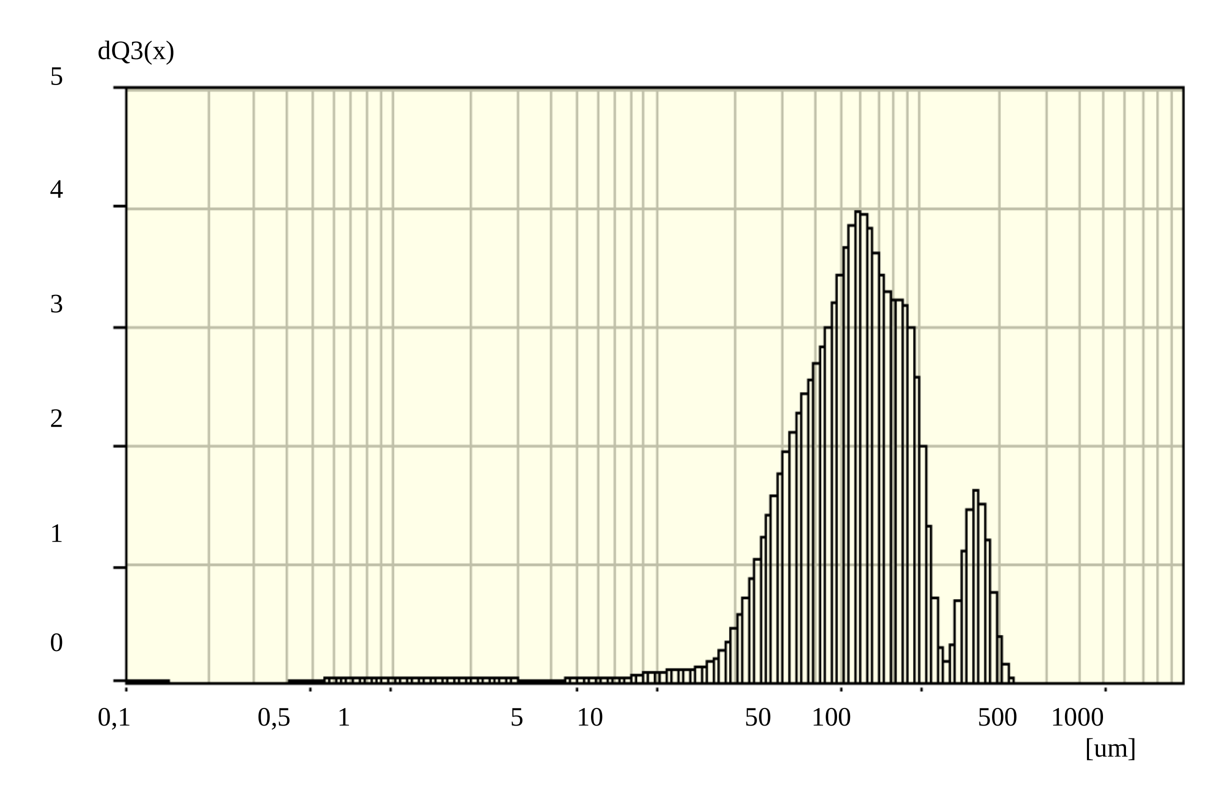


Рис. 2. Графические результаты дисперсного анализа пылевых частиц

Результаты оказались следующими: в составе пыли находится около 90 % мелко- и среднедисперсной пыли размером менее 100 мкм. Частицы подобного рода несут опасность для здоровья людей, есть риск возникновения пневмокониозов и силикозов.

Второй этап эксперимента был направлен на детализацию дисперсного состава пыли, он проводился методом рентгеноспектрального микроанализа [7].

Рентгеновский фазовый анализ является наиболее перспективным методом и отличается достоверностью и скоростью получения результатов, основан не на сравнение с доступными образцами, а на анализе кристаллической структуры вещества. Преимущества данного типа анализа заключаются в ненарушении целостности детали, оценке фаз в смеси, толерантности к объему исследуемого объекта.

Данные, полученные при проведении рентгеноспектрального анализа, показали, что пыль имеет форму, которую условно можно считать сферической. При оседании частицы пыли такой формы вращаются и занимают положение, при котором оказывают наибольшее сопротивление воздуху. Форма сферы способствует оседанию в пылеуловителях инерционного типа и в атмосфере. Более продолжительное время оседают частицы меньше 10 мкм, наличие таких частиц в воздухе свидетельствует о необходимости установки более эффективной системы доочистки воздуха.

Рентгеноспектральный анализ на волновом рентгенофлуоресцентном спектрометре Bruker S8 Tiger в Центре коллективного пользования научным оборудованием (ЦКП НО) ВГУ позволил получить более точное количество содержащихся в образце элементов. С целью доочистки выброса до нормативных концентраций, равных предельно допустимым концентрациям вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ПДКр.з.), существующую систему пылеулавливания предлагается дополнить «мокрой» ступенью.

Основная причина возникновения сильного шума — особенности технологического процесса, при котором возникает аэродинамический шум. Для снижения шума подобного рода необходимо использовать методики улучшения аэродинамических характеристик оборудования.

Предложение авторов — за счет подбора звукоизолирующих и звукопоглощающих частей корпуса дробеструйного оборудования снизить уровень шумового загрязнения.

Экспериментальные исследования коэффициентов поглощения большого количества облицовочных материалов в октавных полосах спектра звуковых частот, представленные в работе [9], помогли выбрать наиболее эффективное сочетание конструкционного, звукопоглощающего и вибродемпфирующего материалов. Способы расчетов акустических характеристик материалов и оборудования помогли определить оптимальные параметры составных частей производственных машин.

Одно из предложений авторов заключается в сохранении толщины стенки из черного металла в дробеструйной камере, равной 3 мм (рис. 1, поз. 12), на которую наносится слой приклеенной резины толщиной

10 мм (рис. 1, поз. 10), что дает дополнительную звукоизоляцию стенок камеры. На внутреннюю поверхность камеры необходимо нанести звукопоглощающие материалы толщиной 30 мм, представляющие собой изделия, которые состоят из супертонких базальтовых волокон диаметром 1–3 микрона, скрепленных между собой в виде холста в оболочке из стеклянной ткани (рис. 1, поз. 12). Коэффициент звукопоглощения представленных материалов в средне-высокочастотном диапазоне составляет от 0,5 до 0,9. Звукоизоляционные характеристики материала из супертонких базальтовых волокон представлены в табл. 3.

Таблица 3

Звукоизоляционные характеристики материала из супертонких базальтовых волокон

Плотность материала – ρ = 15 кг/м³. Толщина материала – 30 мм. Величина зазора между материалом и изолирующей стенкой – 0 мм			
Диапазон частот, Гц	100–300	400–900	1200–1700
Нормальный коэффициент звукопоглощения	0,05–0,15	0,22–0,75	0,85–0,93

Проведенный предварительный расчет снижения шума на рабочем месте оператора при использовании предлагаемых мероприятий показал невозможность достичь требований санитарных норм.

Результаты экспериментальных данных шумового загрязнения не соответствует ожидаемым требованиям. Проведение комплекса мероприятий позволил снизать уровень шума на 8–10 дБ, что не является безопасным значением. Для более серьезного снижения уровня шума необходимо прибегнуть к установке дистанционной системы управления, провести герметизацию оборудования. [10].

Предложение авторов заключается также в установке шумозащитных конструкций и ограждении участков с наиболее интенсивным шумом. Это поможет сформировать звуковую защиту и значительно увеличить диссипацию [11].

Рекомендованные меры не позволяют достичь нормативных значений шумовых характеристик. Так как внесение изменений в конструкцию дробеструйной камеры является технически нереализуемым, то рассматривается применение средства индивидуальной защиты — шлема с наушниками [12].

Авторы предлагают комплексные рекомендации по снижению уровня пыли и шума на рабочем месте оператора, что позволит последовательно решить задачу создания безопасных условий на производстве [12].

Выводы. Описан комплексный анализ влияния шума на работников литейных цехов и изучены пути оптимизации условий труда операторов установок дробеструйной шлифовки:

1. Определены неблагополучные участки с наибольшим уровнем шумового загрязнения — участки выбивных решеток и дробеструйной очистки.

2. Гранулометрический анализ образцов показал, что пыль размером менее 100 мкм составляет 90 % ее общего объема.

3. Установлено, что на участках дробеструйной обработки литейного производства наблюдается превышение нормативных значений уровня шума на 4–18 дБ.

4. Предложено техническое решение по снижению уровня шума для штатной дробеструйной камеры — нанесение на ее внутреннюю поверхность двухслойного покрытия, состоящего из вибродемпфирующего материала, представляющего собой слой приклеенной резины толщиной 10 мм и звукопоглощающего материала из супертонких базальтовых волокон, выполненных по плоской схеме (полотно), что не обеспечивает нормативных значений уровня шума, но дает значительное его снижение.

Библиографический список

1. Пачурин, Г. В. Влияние комплексного воздействия вредных факторов литейного производства на уровень профессионального риска / Г. В. Пачурин, А. А. Филиппов // XXI век. Техносферная безопасность. — 2017. — № 2 (6) — С. 10–17.

2. Орехова, А. И. Экологические проблемы литейного производства / А. И. Орехова // Экология производства. — 2005. — № 1. — С. 2–3.

3. Лазаренков, А. М. Оценка влияния шума на работающих в литейном производстве / А. М. Лазаренков, С. А. Хорева, В. В. Мельниченко // Литье и металлургия. — 2011. — № 3S (62). — С. 194–195.

4. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах : СанПиН 2.2.4.3359-16 : [утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 21 июня 2016 года № 81] / Гарант : [сайт]. — URL: https://base.garant.ru/71462000/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/ (дата обращения : 06.04.2022).

5. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки : Санитарные нормы. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 : [утверждены и введены в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 года № 36] / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов // docs.cntd.ru : [сайт]. — URL: https://docs.cntd.ru/document/901703278 (дата обращения : 06.04.2022).

6. Капустянский, А. М. Методы снижения шума при проектировании и эксплуатации дробеструйных и пескоструйных установок : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. М. Капустянский. — Ростов-на-Дону, 2001. — 18 с.

7. Новиков, В. П. Автоматизация литейного производства : в 2 ч. / В. П. Новиков. — Ч. 1. Управление литейными процессами. — Москва : МГИУ, 2006. — 292 с.

8. Соловьева, О. С. Защита жилой застройки от шума стройплощадок / О. С. Соловьева, Ю. И. Элькин // NOISE Theory and Practice. — 2020. — Т. 6, № 3. — С. 7–15.

9. Дроздова, Л. Ф. Обзор современных компрессорных установок и материалов для снижения их шума / Л. Ф. Дроздова, Е. Ю. Чеботарева, А. В. Кудаев // NOISE Theory and Practice. — 2018. — Т. 4, № 2. — С. 11–20.

10. Ершов, М. Ю. Технология литейного производства. Литье в песчаные формы / М. Ю. Ершов, Ю. А. Сорокин, А. П. Трухов ; под ред. А. П. Трухова. — Москва : Академия, 2005. — 524 с.

11. Анализ влияния шума на операторов в литейном цехе / Л. Ф. Дроздова, В. Я. Манохин, Е. И. Головина, М. В. Манохин // Noise Theory and Practice. — 2021. — Т. 7, № 4 (26). — С. 19–25.

12. Сальникова, Л. А. Анализ влияния шума и запыленности на железобетонном производстве / Л. А. Сальникова, Д. А. Соколов, Е. И. Головина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. — 2022. — № 1 (26). — С. 48–50.

Поступила в редакцию 13.04.2021
Поступила после рецензирования 23.05.2022
Принята к публикации 23.05.2022

Об авторах:

Манохин Вячеслав Яковлевич, профессор кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (394006, РФ, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), доктор технических наук, профессор, ORCID, manohinprof@mail.ru.

Дроздова Людмила Филипповна, профессор кафедры «Экология и производственная безопасность» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова (190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, 1), кандидат технических наук, ORCID.

Головина Елена Ивановна, заместитель декана по учебной работе факультета инженерных систем и сооружений, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (394006, РФ, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), ORCID, u00111@vgasu.vrn.ru.

Соколов Дмитрий Алексеевич, студент факультета инженерных систем и сооружений Воронежского государственного технического университета (394006, РФ, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), ORCID, dmitriysokolov598@gmail.com.

Заявленный вклад соавторов:

В. Я. Манохин — научное руководство, формирование основной концепции, цели и задачи исследования; Л. Д. Дроздова — анализ результатов исследований, формирование выводов; Е. И. Головина — проведение эксперимента, анализ результатов исследований, формирование выводов; Д. А. Соколов — подготовка и оформление текста статьи, работа с литературой.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ







Научная статья
УДК 614.84
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-43-48

Оценка уровня пожарной опасности эксплуатируемых зданий (сооружений) с учетом класса функциональной пожарной опасности за 2017–2020 годы

В. В. Харин, Е. В. Бобринев, А. А. Кондашов, Е. Ю. Удавцова, Т. А. Шавырина
Всероссийский Ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (г. Балашиха, Российская Федерация)

Введение. Проанализированы способы оценки уровня пожарной опасности эксплуатируемых зданий (сооружений). Предложен показатель «доля травмированных при пожарах людей от общего количества пострадавших людей при пожарах» для оценки уровня пожарной опасности эксплуатируемых зданий (сооружений).

Постановка задачи. Для оценки уровня пожарной опасности эксплуатируемых зданий (сооружений) используются различные показатели, не учитывающие количество людей, присутствовавших на объекте во время пожара. Вместе с тем рассматриваемые показатели находятся в зависимости от этого количества людей. Расчет показателя «доля травмированных при пожарах людей от общего количества пострадавших людей при пожарах» в качестве дополнительного позволит оценить факторы пожарной опасности на объектах без учета количества людей, находившихся на объекте защиты во время пожара.

Теоретическая часть. В качестве базовой информации в исследовании использована статистика пожаров и их последствий за 2017–2020 гг. на эксплуатируемых объектах, сгруппированных по классам функциональной пожарной опасности. Показатели, использованные при расчете: количество пожаров, количество погибших людей, количество травмированных людей.

Выводы. Показатель «доля травмированных при пожарах людей от общего количества пострадавших людей при пожарах» оценивает вероятность выживания людей, оказавшихся в зоне воздействия опасных факторов пожара, приводящих к травме или гибели человека, и характеризует величину факторов пожарной опасности. Большие значения этого показателя могут свидетельствовать о низком уровне пожарной опасности. При этом нанесенный вред здоровью не приводит к гибели пострадавших. Приведены расчеты этого и других показателей для объектов защиты по классам функциональной пожарной опасности на основе статистических данных о пожарах и их социальных последствиях. Показан высокий уровень пожарной опасности в одноквартирных жилых домах, зданиях сельскохозяйственного назначения и культурно-досуговых учреждениях.

Ключевые слова: пожар, объект защиты, класс функциональной пожарной опасности, гибель, травма.

Для цитирования: Оценка уровня пожарной опасности эксплуатируемых зданий (сооружений) с учетом класса функциональной пожарной опасности за 2017–2020 годы / В. В. Харин, Е. В. Бобринев, А. А. Кондашов [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 2. — С. 43–48. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-43-48

Original article

Assessment of the fire hazard level of buildings (structures) in operation, taking into account the functional fire hazard class for 2017-2020

V. V. Kharin, E. V. Bobrinev, A. A. Kondashov, E. Yu. Udavtsova, T. A. Shavyrina

The Federal State Budgetary Institution "The Research Institute of Fire Protection of All-Russian Order "Badge of Honor" of the EMERCOM of Russia" (Balashikha, Russian Federation)

Introduction. The article analyzes the methods of assessing the fire hazard level of operated buildings (structures). The indicator "the proportion of people injured in fires from the total number of people injured in fires" is proposed to assess the fire hazard level of operated buildings (structures).

Problem Statement. To assess the fire hazard level of operated buildings (structures), various indicators are used that do not take into account the number of people present at the facility during the fire, but are dependent on this value. The calculation of the indicator "the proportion of people injured in fires from the total number of people injured in fires" as an additional one allows us to estimate the magnitude of fire hazard factors at facilities without taking into account the number of people who were at the protection facility during the fire.

Theoretical Part. As the basic information in the study, the statistics of fires and their consequences for 2017-2020 at operated facilities grouped by functional fire hazard classes were used. The indicators used in the calculation are the number of fires, the number of people killed and the number of injured people.

Conclusions. The indicator "the proportion of people injured in fires from the total number of people injured in fires" evaluates the probability of survival of people caught in the zone of exposure to fire hazards that lead to injury or death of a person, and characterizes the magnitude of fire hazard factors. Large values of this indicator may indicate a low level of fire hazard — the damage to health does not lead to the death of victims. The calculations of this and other indicators for objects of protection by functional fire hazard classes based on statistical data on fires and their social consequences are given. The high level of fire hazard in single-family residential buildings, agricultural buildings and cultural and leisure institutions is shown.

***Keywords*:** fire, object of protection, functional fire hazard class, death, injury.

For citation: Kharin V. V., Bobrinev E. V., Kondashov A. A., Udavtsova E. Yu., Shavyrina T. A. Assessment of the fire hazard level of buildings (structures) in operation, taking into account the functional fire hazard class for 2017-2020. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2022;2:43−48. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-43-48

Введение. Проблеме оценки пожарной опасности эксплуатируемых зданий (сооружений) посвящено много научных исследований [1–4]. При этом подходы к такой оценке часто различаются. Предлагается использовать показатели: «риск для человека погибнуть при пожаре» [1, 2]; «доля погибших и травмированных людей для группы объектов защиты, схожих по видам экономической деятельности», рассчитанная как среднее количество пострадавших людей, приходящихся на один объект за год [3]; показатель, основанный на подходе Доу-Джонса [4] и др. Однако не всегда можно точно оценить количество людей, находящихся на объекте защиты во время пожара. Кроме того, смещенными оценками являются расчеты среднего количества погибших людей, приходящихся на 1 объект за год или на 1 пожар, т. к. не учитывают общее количество людей, находящихся на объекте защиты во время пожара, в то же время рассматриваемые оценки находятся в зависимости от общего количества людей.

В 2020 г. количество плановых и внеплановых проверок пожарной безопасности объектов защиты уменьшилось на 66 % [5]. Это обусловлено несколькими факторами: во-первых, изменениями контрольно-надзорной деятельности, закрепленными Федеральным законом от 31.07.2020 № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации», устанавливающим новый порядок организации и осуществления государственного и муниципального контроля; во-вторых, принятием Правительством РФ ряда постановлений, связанных с пандемией, в числе которых продление моратории на плановые проверки субъектов малого и среднего предпринимательства и ограничение внеплановых проверок в условиях распространения COVID-19. Цель настоящих исследований состоит в выявлении объектов защиты, обладающих максимальным уровнем пожарной опасности.

Постановка задачи. В настоящей работе на основе статистики пожаров и их последствий за 2017–2020 гг. [6–9, 10] проведена оценка пожарной опасности эксплуатируемых зданий (сооружений), сгруппированных по уровню такой опасности в соответствии со статьей 32 Федерального закона от 22.07.2008

№ 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Данные по статистике пожаров и их последствий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические данные о количестве пожаров и пострадавших людей за 2017–2020 гг.

Класс функциональной пожарной опасности	Количество пожаров	Количество людей	
		погибших	травмированных
Ф1.1	889	32	62
Ф1.2	1446	56	140
Ф1.3	119665	9713	14478
Ф1.4	173086	17555	10031
Ф2.1	528	65	86
Ф3.1	10961	44	165
Ф3.2	2563	14	84
Ф3.4	488	11	21
Ф3.5	1136	10	38
Ф3.6	9627	86	158
Ф4.1.	776	2	21
Ф4.3	3552	40	102
Ф5.1	13059	244	527
Ф5.2	30616	521	792
Ф5.3	8091	185	154

Для каждой группы объектов защиты, различающихся по классу функциональной пожарной опасности, рассчитывали следующие показатели:

- количество погибших при пожарах людей в расчете на 1 пожар;
- количество пострадавших (погибших и травмированных) при пожарах людей в расчете на 1 пожар;
- доля травмированных людей от суммы людей, пострадавших при пожарах.

Теоретическая часть. На рис. 1 приведено распределение пожаров по группам объектов защиты, соответствующих классам функциональной пожарной опасности. Больше всего пожаров за 2017–2020 гг. произошло в одноквартирных жилых домах (46 %), многоквартирных жилых домах (32 %) и объектах функциональной пожарной опасности класса Ф5.2 (складские здания и др.). На рис. 2, 3 отражены последствия пожаров на различных объектах.

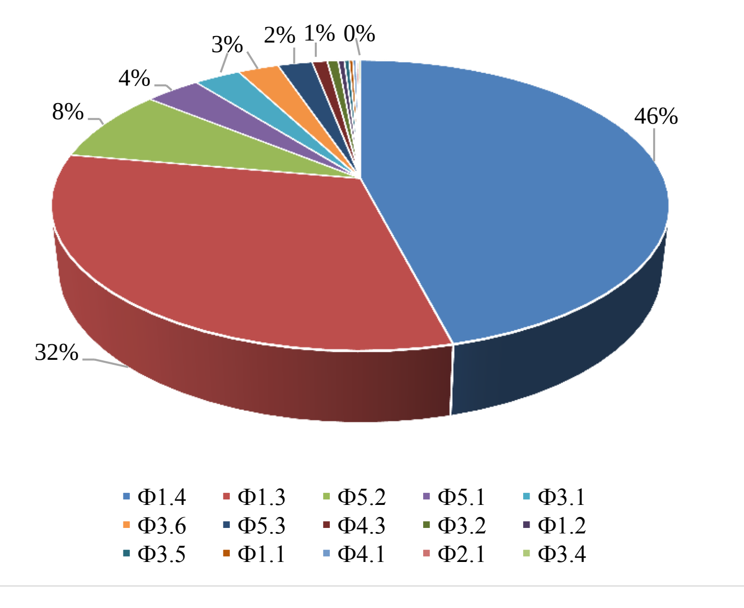


Рис. 1. Распределение пожаров по классам функциональной опасности

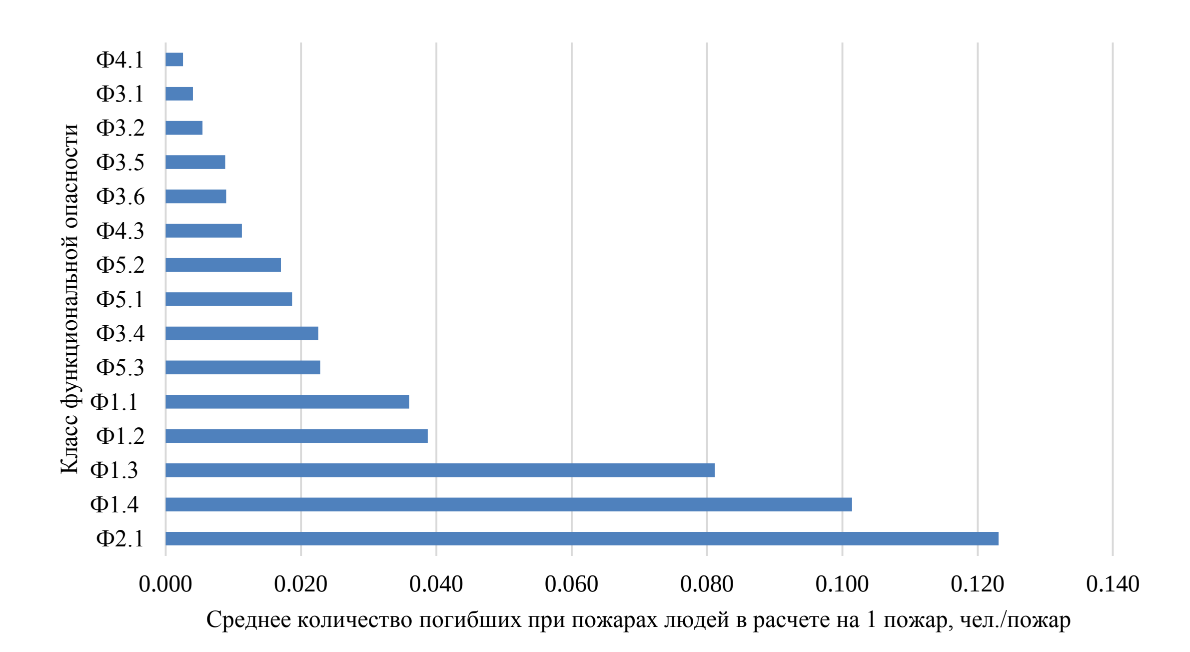


Рис. 2. Распределение количества погибших при пожарах людей в расчете на 1 пожар по группам объектов защиты

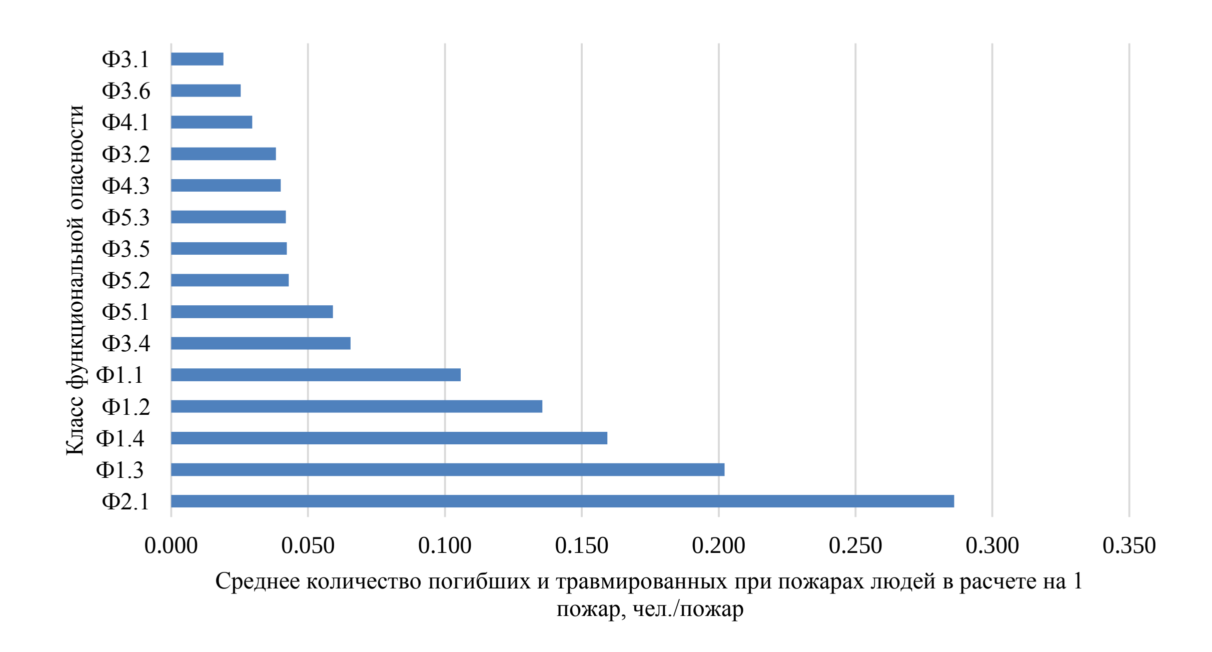


Рис. 3. Распределение количества пострадавших (погибших и травмированных) при пожарах людей в расчете на 1 пожар по группам объектов защиты

Максимальный негативный эффект от пожаров зафиксирован на объектах функциональной опасности класса Ф2.1 (культурно-досуговые учреждения и др.). Также высок этот показатель в одноквартирных и многоквартирных жилых домах и на объектах класса Ф1.2 (гостиницы, общежития и др.). Однако такие значения рассматриваемых показателей могут быть связаны как с высоким уровнем пожарной опасности объектов защиты, так и с большим количеством людей, находящихся на объектах во время пожара.

Для оценки пожароопасности эксплуатируемых зданий (сооружений) в качестве дополнительного предлагается использовать показатель «доля травмированных при пожарах людей от общего количества пострадавших людей при пожарах». Данный показатель оценивает вероятность выживания людей, попавших под воздействие опасных факторов пожара, приводящих к травме или гибели человека, и характеризует величину факторов пожарной опасности. Большие значения этого показателя могут свидетельствовать о низком уровне пожарной опасности, когда повреждения здоровью не приводят к гибели пострадавших. На рис. 4

представлены соотношения доли травмированных при пожарах людей от общего количества пострадавших при пожарах по группам объектов защиты, соответствующих классам функциональной опасности.

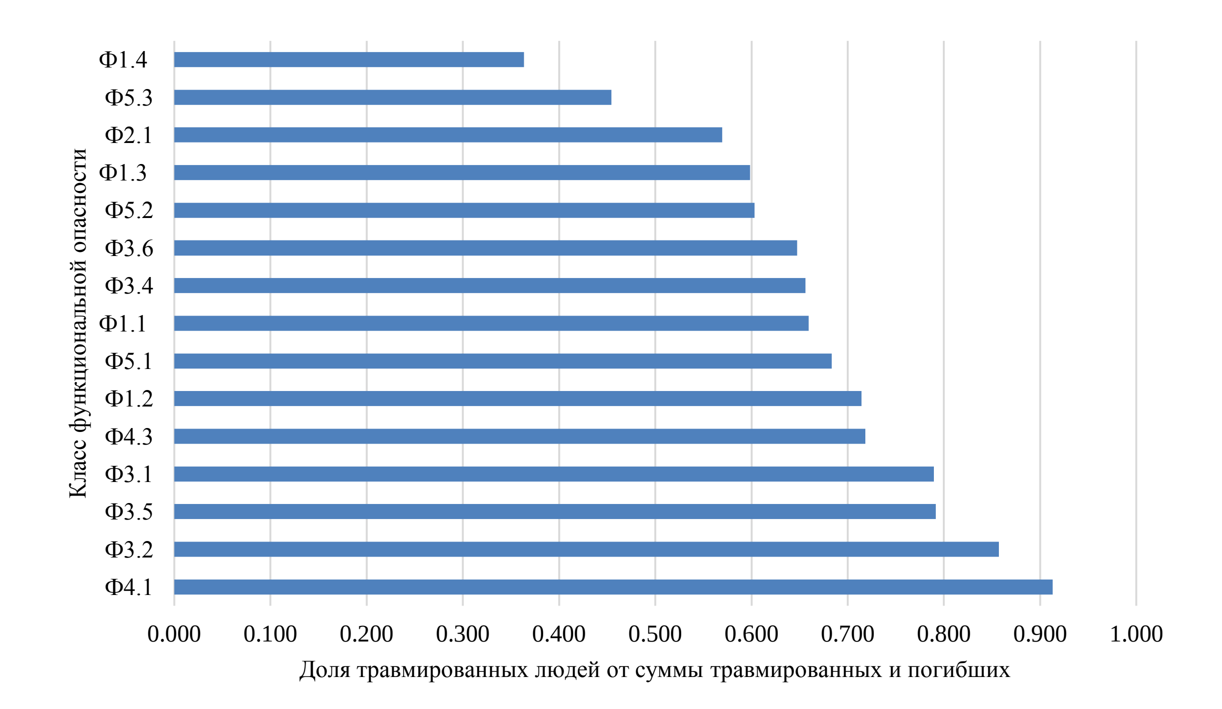


Рис. 4. Доля травмированных людей от суммы пострадавших по группам объектов защиты

Как видно из рис. 4, самый высокий уровень пожарной опасности зафиксирован в одноквартирных жилых домах. Следует отметить, что на этих объектах произошло больше всего пожаров (рис. 1). Однако в случае использования показателя «среднее количество погибших на 1 объект в год» получаем оценку $2{,}4 \cdot 10^{-5}$ чел./объект/год, тогда как для многоквартирных домов аналогичная оценка составляет $9{,}0 \cdot 10^{-5}$ чел./объект/год. Полученные расчетные данные подтверждают вывод о некорректности использования данного показателя для оценки уровня пожарной опасности эксплуатируемых зданий (сооружений) без учета количества людей, находящихся на объекте защиты во время пожара. Предложенный показатель «доля травмированных при пожарах людей от общего количества пострадавших людей при пожарах» не зависит от учета количества людей, находящихся на объекте защиты во время пожара, и представляется более оптимальным для оценки величины пожароопасности эксплуатируемых зданий (сооружений). Следует отметить, что низкие значения данного показателя получены для зданий сельскохозяйственного назначения (Ф5.3), а также культурно-досуговых учреждений (Ф2.1). Заметим, что остальные способы оценки пожароопасности эксплуатируемых зданий (сооружений) не фиксируют высокий уровень пожарной опасности зданий сельскохозяйственного назначения.

Выводы. Проанализированы показатели оценки пожарной опасности эксплуатируемых зданий (сооружений), отклассифицированных по уровню пожарной опасности в соответствии со статьей 32 Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Предложен новый показатель для таковой оценки. Показан высокий уровень пожарной опасности в одноквартирных жилых домах, зданиях сельскохозяйственного назначения и культурно-досуговых учреждениях. Необходимо разрабатывать новые формы организации и осуществления государственного и муниципального контроля, учитывающие высокие риски пожарной опасности объектов защиты выделенных категорий.

Библиографический список

1. Триада «опасность – риск – безопасность» / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов, Е. А. Клепко [и др.] // Проблемы анализа риска. — 2013. — Т. 10, № 4. — С. 42–49.

2. Фирсов, А. В. Влияние класса функциональной пожарной опасности здания и сооружения на расчетную величину индивидуального пожарного риска / А. В. Фирсов, Г. Х. Харисов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2013. — № 3. — С. 43–45.

3. Категории риска объектов защиты в области пожарной безопасности / Д. В. Зобков, А. А. Порошин, Е. В. Бобринев [и др.] // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. — 2020. — № 3 (7). — С. 170–175.
4. Кайбичев, И. А. Индексы пожарного риска в Российской Федерации / И. А. Кайбичев, Е. И. Кайбичева // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 5. — С. 56–61.
5. Государственный надзор МЧС России в 2020 г. : Инф.-аналит. сб. / П. В. Полехин, А. А. Козлов, А. А. Порошин [и др.]. — Москва : Изд-во ВНИИПО МЧС России, 2021. — 127 с.
6. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году : Стат. сб / под ред. Д. М. Гордиенко. — Москва : Изд-во ВНИИПО МЧС России, 2021. — 112 с.
7. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году : Стат. сб. / под ред. Д. М. Гордиенко. — Москва : Изд-во ВНИИПО МЧС России, 2020. — 80 с.
8. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году : Стат. сб. / под ред. Д. М. Гордиенко. — Москва : Изд-во ВНИИПО МЧС России, 2019. — 125 с.
9. Пожары и пожарная безопасность в 2017 году : Стат. сб. / под ред. Д. М. Гордиенко. — Москва : Изд-во ВНИИПО МЧС России, 2018. — 125 с.
10. Жилищное хозяйство в России. 2019 : Стат. сб. / Федер. служба гос. стат. — Москва : Росстат, 2019. — 78 с.

Поступила в редакцию 17.02.2021
Поступила после рецензирования 02.03.2022
Принята к публикации 03.03.2022

Об авторах:

Харин Владимир Владимирович, начальник НИЦ ОУП ПБ Всероссийского Ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), ORCID, otdel_1_3@mail.ru.

Бобринев Евгений Васильевич, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 НИЦ ОУП ПБ Всероссийского Ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат биологических наук, ORCID, otdel_1_3@mail.ru.

Кондашов Андрей Александрович, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 НИЦ ОУП ПБ Всероссийского Ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат физико-математических наук, ORCID, akond2008@mail.ru.

Удавцова Елена Юрьевна, старший научный сотрудник отдела 1.3 НИЦ ОУП ПБ ФГБУ Всероссийского Ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат технических наук, ORCID, otdel_1_3@mail.ru.

Шавырина Татьяна Александровна, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 НИЦ ОУП ПБ Всероссийского Ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат технических наук, ORCID, shavyrina@list.ru.

Заявленный вклад соавторов:

В. В. Харин — научное руководство, анализ результатов исследования, корректировка выводов, доработка текста; Е. В. Бобринев — формирование основной идеи и концепции исследования, обзор публикаций по теме статьи, участие в сборе и обработке материала, анализ результатов исследования, участие в написании текста рукописи; А. А. Кондашов — разработка цели и задач исследования, проведение расчетов, анализ и интерпретация данных, формирование выводов, участие в написании текста рукописи; Е. Ю. Удавцова — разработка дизайна исследования, подготовка литературы, участие в сборе и обработке материала, участие в написании текста рукописи; Т. А. Шавырина — участие в написании текста рукописи, редактирование текста, оформление окончательного варианта статьи.

МАШИНОСТРОЕНИЕ





Научная статья
УДК 331.45
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-49-68



Исследование эффективности алюминиевых элементов пассивной безопасности в автомобиле на основе компьютерного моделирования

Л. А. Жуков, А. Л. Кузьминов
Череповецкий государственный университет (г. Череповец, Российская Федерация)

Введение. Выполнено исследование энергопоглощающего элемента (ЭПЭ) из алюминиевого сплава, который является частью пассивной системы безопасности гоночного автомобиля. Проектирование и тестирование энергопоглощающего элемента выполнено в рамках технического регламента международных студенческих инженерных соревнований Formula SAE. Formula SAE — это инженерные соревнования студенческих команд, организованные Обществом автомобильных инженеров (Society of Automotive Engineers, SAE).
Проектирование и анализ динамических показателей объекта исследования проводились в системе автоматизированного проектирования (САПР) Ansys® Workbench SpaceClaim и Ansys Explicit Dynamics.
Постановка задачи. Задачей данного исследования является анализ эффективности применения алюминиевого сплава в качестве основного материала для изготовления энергопоглощающего элемента системы пассивной безопасности автомобиля.
Теоретическая часть. В качестве перспективных моделей энергопоглощающих элементов было разработано 11 их конструкций разной формы (структуры) из алюминиевого сплава 6063. Была проведена симуляция краш-теста (фронтальный удар и удар с перекрытием), в результате которого исследовано протекание деформации в конструкции автомобиля и установлены основные зоны напряженности и нагрузки. Проведенное исследование энергопоглощающих элементов может быть использовано при обосновании выбора материала для изготовления пассивных систем безопасности автомобиля автопроизводителями и машиностроительными предприятиями.
Выводы. Результатом исследования является смоделированный процесс разрушения (деформации) энергопоглощающего элемента, отвечающего за поглощение энергии в случае фронтального удара и удара с перекрытием. Исследовано влияние материала и формы энергопоглощающего элемента на качественные и количественные характеристики пассивной системы безопасности автомобиля. Изучены нагрузки и напряжения, возникающие в конструкции энергопоглощающего элемента. Доказана эффективность использования алюминиевого сплава в перспективных элементах пассивной безопасности автомобиля. Проведенные симуляции краш-тестов показали, что использование прогрессивных материалов конструктивных элементов пассивной безопасности транспортных средств, а именно алюминиевых сплавов в оптимизированном в результате моделирования исполнении, позволяет добиваться высоких показателей защищенности экипажа автомобиля.
Анализ распределения величины поглощенной энергии помогает выявить направление для дальнейшего усовершенствования систем пассивной безопасности автомобиля. Установлено влияние материала изготовления энергопоглощающего элемента на протекающие процессы во время фронтального удара. Разработана универсальная технология проведения краш-теста (моделирование процессов соударения) энергопоглощающего элемента с жесткой преградой в ПО Ansys. Исследовано процентное отношение (перераспределение) поглощаемой энергии фронтальными элементами пассивной безопасности автомобиля.

Ключевые слова: энергопоглощающий элемент, алюминиевый сплав, деформация, эффективность, краш-тест, система пассивной безопасности автомобиля.

Для цитирования: Жуков, Л. А. Исследование эффективности алюминиевых элементов пассивной безопасности в автомобиле на основе компьютерного моделирования / Л. А. Жуков, А. Л. Кузьминов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 2. — С. 49–68. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-49-68

Original article

Research on the effectiveness of aluminum passive safety elements in cars based on computer simulation

L. A. Zhukov, A. L. Kuzminov
Cherepovets State University (Cherepovets, Russian Federation)

Introduction. The research of energy-absorbing element made of aluminum alloy, which is part of the passive safety system of a racing car, is carried out in the article. Designing and testing of the energy absorbing element was performed within the framework of the technical regulations of the international student engineering competition Formula SAE. Formula SAE is an engineering competition of student teams organized by the Society of Automotive Engineers (SAE).
The design and analysis of the dynamic performance of the research object were performed in the computer-aided design system (CAD) ANSYS® Workbench SpaceClaim and ANSYS Explicit Dynamics.
Problem Statement. The task of this research is to analyze the effectiveness of the use of aluminum alloy as the main material for the manufacture of the energy-absorbing element of the passive safety system of the car.
Theoretical Part. Eleven structures of different shapes (structures) made of aluminum alloy 6063 were developed as promising models of energy-absorbing elements. A simulation crash test (frontal impact) was carried out, as a result of which it was possible to study the flow of deformation in the structure, to find the main zones of stress and load. This study of energy-absorbing elements can be used to justify the choice of material for the manufacture of passive car safety elements by car manufacturers and machine builders.
Conclusions. The result of the research is a simulated process of destruction (or deformation) of the energy-absorbing element responsible for the absorption of energy in case of a frontal impact. The dependence of the manufacturing material and the shape of the energy absorbing element on the qualitative and quantitative characteristics of the passive car safety system has been investigated. Loads and stresses appearing in the structure of energy absorbing element have been studied. The efficiency of using aluminum alloy in promising car passive safety elements has been proved. Simulations of crash-tests showed that the use of progressive materials of construction elements of passive safety of vehicles, namely, aluminum alloys in an optimized (as a result of modeling) performance allows you to achieve high levels of protection of the pilot and passengers of the vehicle.
The analysis of the absorbed energy value distribution allows revealing the direction for further improvement of the car passive safety systems. The influence of energy absorbing element manufacturing material on the processes occurring during frontal impact has been established. A universal technology of crash-testing (modeling of impact processes) of an energy absorbing element with a rigid obstacle has been developed in Ansys software. The percentage ratio (redistribution) of energy absorbed by frontal elements of passive safety of the car has been investigated.

Keywords: energy absorbing element, aluminum alloy, deformation, efficiency, crash test, vehicle passive safety system.

For citation: Zhukov L. A., Kuzminov A. L. Research on the effectiveness of aluminum passive safety elements in cars based on computer simulation. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2022;2:49−68. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-49-68

Введение. Автомобиль — это самый распространенный наземный вид транспорта в мире по состоянию на 2022 год. Так, в Российской Федерации автомобильный вид транспорта занимает 61,6 % от общего объема пассажирских перевозок (рис. 1) [1].

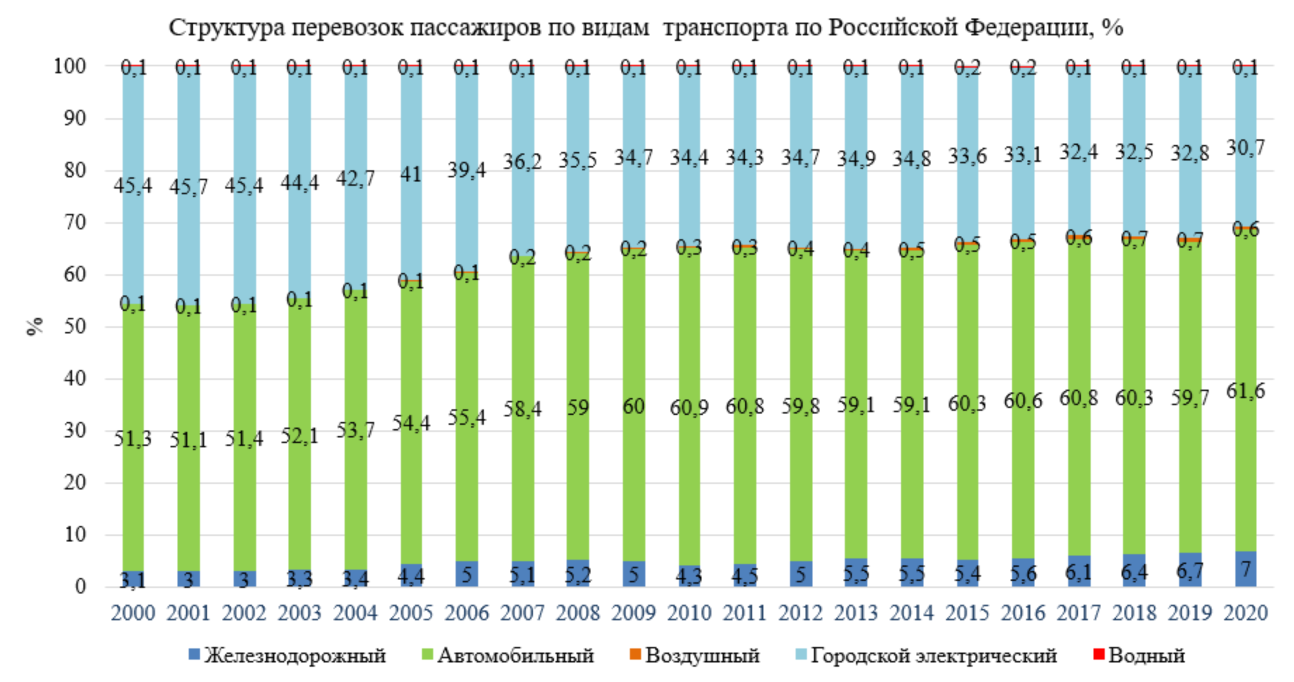


Рис. 1. Структура перевозок пассажиров по видам транспорта в Российской Федерации (в процентах с 2000 по 2020 год)

Главным конструкционным материалом в машиностроении является сталь. Однако с развитием технологий в автомобильной отрасли появились новые приоритетные направления развития: снижение расхода топлива, снижение выбросов CO_2, повышение безопасности автомобиля, использование полностью электрической или гибридной силовой установки в автомобиле [2]. Инструментом для решения приоритетных задач в машиностроительной отрасли является применение алюминиевых сплавов в конструкции автомобиля [3]. По состоянию на 2021 год потребление алюминия в машиностроении занимало более 10 % всего объема производства алюминия в мире. Ключевыми факторами повышенного спроса алюминия в машиностроении является увеличение производства автомобилей, а также количества их узлов и агрегатов, выполненных из алюминия. Так, доля алюминия в общем весе автомобиля выросла в среднем с 35 (1970-е годы) до 152 килограммов (2021 год), а к 2025 году доля алюминия может достигнуть 270 килограммов [4].

Использование алюминия в автомобилестроении позволяет достичь следующих результатов: уменьшить массу автомобиля, увеличить грузоподъемность, снизить расход топлива (и, как следствие, выбросы углекислого газа), улучшить динамику разгона и торможения, повысить безопасность автомобиля, поскольку алюминий обладает лучшими характеристиками энергопоглащения, чем сталь.

Способность алюминиевых сплавов гасить удар в 2–3 раза выше, чем у стали, и это ускорило их внедрение в автомобильную промышленность. Например, в автомобилях Tesla устанавливается трехуровневая система пассивной безопасности автомобиля, выполненная из алюминиевых сплавов. Первый уровень защиты представляет собой алюминиевый отбойник на днище Tesla Model S, выполненный в виде полого алюминиевого бруса специальной формы, который отбрасывает лежащие на дороге предметы, попавшие под автомобиль, вверх, направляя основной удар в район переднего багажника, тем самым защищая батарейный отсек и сохраняя управляемость автомобилем. Второй уровень защиты представляет собой восьмимиллиметровую непробиваемую плиту из алюминиево-титанового сплава, которая защищает батарейный отсек от повреждений. Третий уровень защиты — щит из штампованного алюминия, который рассеивает энергию удара и, если препятствие твердое и неподвижное, приподнимает автомобиль над ним [5].

Большое распространение в 2021 году получило применение алюминия в качестве основного материала при изготовлении кузова автомобиля. Это обусловлено тем, что деформации в алюминиевых конструкциях локализуются в компактных зонах, не давая деформироваться другим частям кузова, тем самым сохраняется максимальная безопасность той части автомобиля, где находятся пассажиры. Перспективным направлением для производителей автомобилей также является создание производств замкнутого цикла, в

которых идущие на лом алюминиевые детали утилизируемых автомобилей будут служить сырьем для изготовления запасных частей для новых транспортных средств.

Актуальность исследования в области пассивной безопасности транспортных средств обусловлена сложностью и недостаточной изученностью методов тестирования и виртуального моделирования динамических краш-тестов пассивных элементов безопасности автомобиля.

Именно системы пассивной безопасности автомобиля, выполненные из алюминия, стали предметом исследования, результаты которого представлены в данной статье.

Постановка задачи. Первоначальной задачей исследования являлся анализ эффективности использования алюминия в элементах пассивной безопасности автомобиля.

В качестве инструментального метода исследования использовалось моделирование устройства пассивной безопасности гоночного болида — энергопоглощающего элемента из алюминиевого сплава и его дальнейшее тестирование на энергопоглощающие свойства при фронтальном ударе (рис. 2) [6].



Рис. 2. Конструкция гоночного автомобиля, спроектированного по регламенту FSAE, с энергопоглощающим элементом (на рис. обозначен зеленым цветом)

В качестве исходных данных для твердотельного компьютерного моделирования и исследования энергопоглощающего элемента были приняты технические требования к объекту исследования из технического регламента проекта Formula SAE.

Требования технического регламента FSAE:

— согласно пункту T2.18.2 энергопоглощающий элемент должен быть установлен спереди передней перегородки рамы автомобиля, иметь размеры как минимум 100 мм в высоту и 200 мм в ширину на расстоянии не менее 200 мм от передней перегородки вдоль оси рамы, надежно закреплён на передней перегородке (при помощи клея, сварки или болтового соединения);

— согласно пункту T2.18.3 на всех транспортных средствах должна быть интегрирована защитная пластина из алюминия толщиной 4 мм или из конструкционной стали толщиной 1,5 мм;

— согласно пункту T2.20.1 тестирование энергопоглощающего элемента проводится при помощи жесткого фронтального удара (под углом 90^{o}) при скорости автомобиля 7 м/с. В результате тестирования энергопоглощающего элемента общее количество поглощенной энергии должно составлять не менее 7 350 Дж, а максимальная перегрузка не должна превышать 40 g [7].

Результаты исследования могут быть применены машиностроительными предприятиями при выборе и обосновании эффективности использования алюминия в качестве основного материала для пассивных элементов безопасности автомобиля.

Теоретическая часть. Для решения поставленной задачи в качестве материала изготовления энергопоглощающего элемента был выбран алюминиевый сплав 6063 (AW-6063), химический состав которого представлен в табл. 1 [8].

Таблица 1

Химический состав алюминия 6063

Химический состав сплава 6063 по стандартам EN 573-3									
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Прочие элементы	
0,2–0,6	0,35	0,1	0,1	0,45–0,9	0,1	0,1	0,1	0,05	0,15

Алюминий 6063 — это алюминиевый сплав с магнием и кремнием в качестве легирующих элементов. Стандарт контроля его состава поддерживается Алюминиевой ассоциацией. Обычно он имеет хорошие механические свойства, поддается термообработке и сварке. Алюминий 6063 — наиболее распространенный сплав, используемый для изготовления профилей с фиксированным поперечным сечением (экструзии) алюминия. Он позволяет формировать сложные формы с очень гладкими поверхностями, пригодными для анодирования. Алюминий 6063 является алюминиевым сплавом повышенной пластичности и коррозионной стойкости. Коррозионная стойкость этого сплава высокая: он не склонен к коррозионному растрескиванию под напряжением независимо от состояния материала. Он подходит для автоматизированных сборочных операций, поскольку хорошо сваривается дуговой сваркой в среде инертного газа.

Механические свойства алюминия 6063 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Механические свойства алюминия 6063

Удельный вес	2690 кг/м^3 (2,69 г/см^3 при 20° C)
Предел прочности (временное сопротивление разрыву), мин., Rm, МПа	240
Предел текучести, мин., Rp0,2 в Н/мм^2	215
Относительное удлинение, мин., %	11
Твердость по Бринеллю, HB макс.	78
Модуль упругости при растяжении, МПа	68300
Модуль упругости при сдвиге, МПа	25800
Модуль упругости при сжатии, МПа	69700
Коэффициент температурного расширения, µm/m–C	23,4
Коэффициент Пуассона	0,33

Расположение алюминия 6063 в сетке других сплавов алюминия в зависимости от процентного содержания Si (кремния) и Mg (магния) приведено на рис. 3.

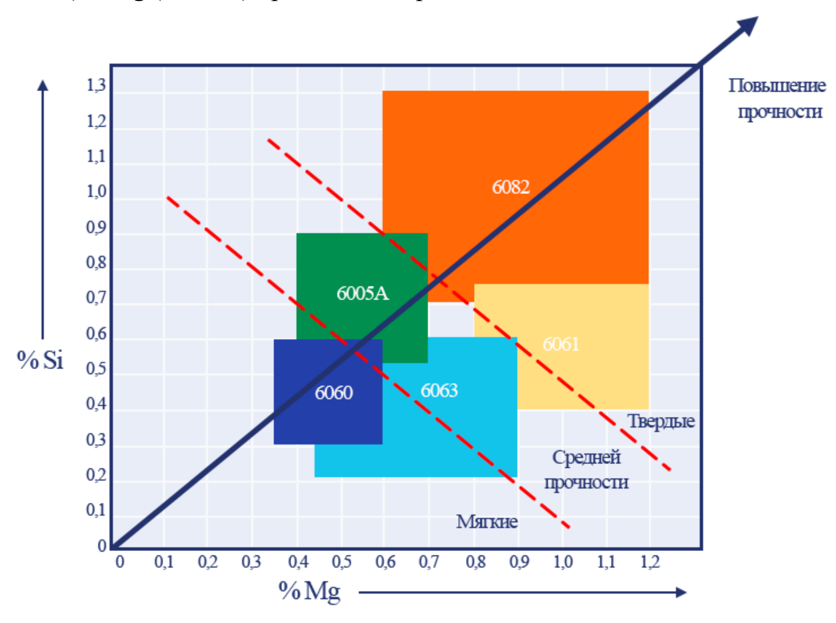


Рис. 3. Сетка расположение алюминиевых сплавов в зависимости от процентного содержания кремния и магния

Таким образом, можно сделать предварительный вывод, что алюминиевый сплав 6063 имеет механические свойства, позволяющие использовать его в производстве пассивных элементов безопасности, требующих от материала достаточной прочности и способности к управляемой деформации при рассчитанных нагрузках.

Для моделирования конструкций энергопоглощающих элементов было использовано программное обеспечение Ansys SpaceClaim (САПР). Форма и структурное расположение энергопоглащающего элемента выбирались исходя из способности энергопоглощающего устройства к структурной деформации алюминиевого сплава в процессе изготовления энергопоглощающего элемента.

В качестве перспективных моделей энергопоглощающих элементов из алюминия были разработаны модели конструкций, которые представлены в табл. 3. В качестве метода построения конечно-разностной сетки был выбран Automatic method (автоматический метод) в Ansys Explicit Dynamics с установленным размером элементов 2 мм [9].

Выбор размера элементов сетки обусловлен конструкцией модели энергопоглощающих элементов, а также возможностью провести точное исследование распределения нагрузок в ЭПЭ в момент столкновения [10].

Количество узлов и элементов сетки разработанных моделей энергопоглощающих элементов также представлено в табл. 3.

Таблица 3

Перспективные модели энергопоглощающих элементов из алюминия 6063
и их сетка конечных элементов

№	Структурное наименование	3D модель	Сетка конечных элементов	Характеристика сетки
1	Энергопоглощающий элемент вида усеченной пирамиды			Statistics Nodes 145685 Elements 145167
2	Энергопоглощающий элемент вида усеченной пирамиды с четырьмя технологическими отверстиями			Statistics Nodes 142751 Elements 142056
3	Энергопоглощающий элемент вида усеченной пирамиды с шестью технологическими отверстиями			Statistics Nodes 143989 Elements 143265
4	Энергопоглощающий элемент прямоугольного вида из алюминиевого профиля			Statistics Nodes 186165 Elements 185276

№	Структурное наименование	3D модель	Сетка конечных элементов	Характеристика сетки
5	Энергопоглощающий элемент вида сглаженной усеченной пирамиды			Statistics Nodes 141020 Elements 140456
6	Энергопоглощающий элемент вида сглаженной усеченной пирамиды с двумя технологическими прямоугольными отверстиями			Statistics Nodes 138789 Elements 138065
7	Энергопоглощающий элемент двухсекционного вида			Statistics Nodes 185729 Elements 184826
8	Энергопоглощающий элемент цилиндрической формы			Statistics Nodes 149332 Elements 149022
9	Энергопоглощающий элемент четырехсекционной конструкции			Statistics Nodes 211941 Elements 211065
10	Энергопоглощающий элемент трехсекционной конструкции			Statistics Nodes 212056 Elements 211035
11	Энергопоглощающий элемент из алюминиевых сот			Statistics Nodes 465640 Elements 366902

В процессе исследований, разработки и расчетов энергопоглощающих элементов необходимо принять во внимание тот факт, что метод конечных элементов — FEM (Finite Element Method) — приближенный метод, точность которого зависит от допущений, связанных с типом элемента и размером сетки. В элементах конструкции энергопоглощающего элемента, где происходят изменения напряжений и деформаций на порядок

и более, требуется более плотная сетка. В элементах, подверженных практически постоянному напряжению, с минимальной разницей значений, а также в элементах, не требующих точного исследования, применяется редкая сетка, с большим размером элементов. При формировании сетки конечных элементов (КЭ) могут быть использованы одновременно как элементы треугольной, так и прямоугольной формы, при этом сетка строится без промежутков между элементами (рис. 4).



Рис. 4. Пример сетки КЭ модели энергопоглощающего элемента и жесткого препятствия

Динамическое исследование (краш-тест) проводился с использованием программного обеспечения Ansys Workbench с установленным программным пакетом динамического анализа Explicit Dynamics (рис. 5).

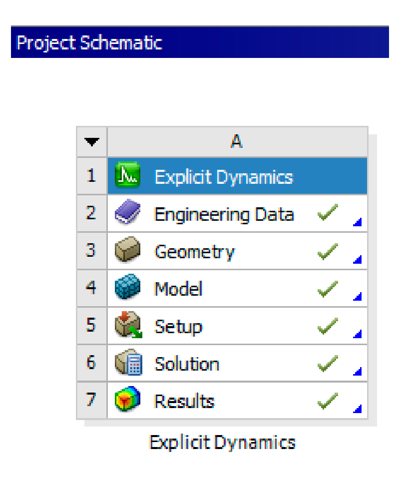


Рис. 5. Структура проекта динамического исследования Ansys

Проект динамического исследования состоит из следующих основных элементов (этапов):

— Engineering Data — является базой материалов, в которой можно как выбирать и настраивать готовые материалы, так и добавлять свои;

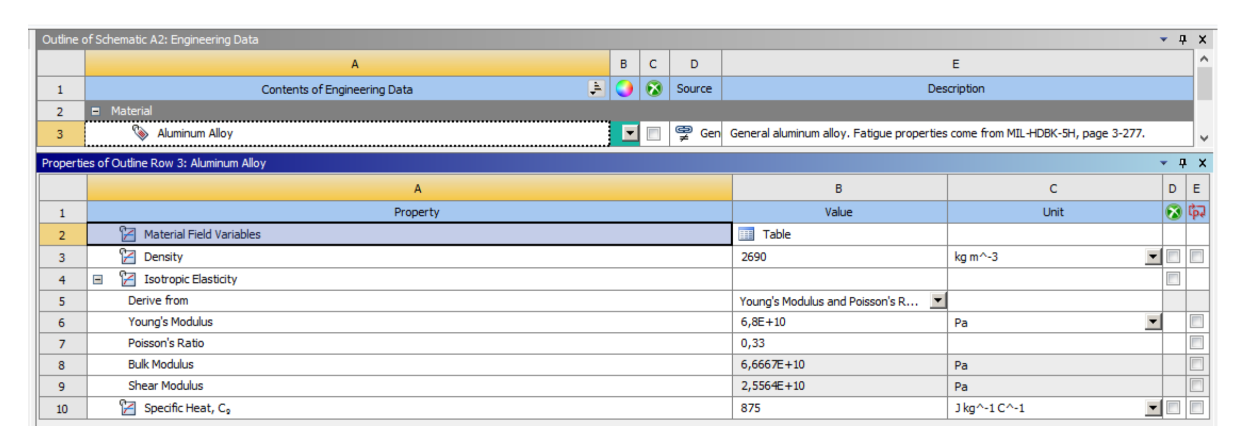
— Geometry — является средой разработки моделей, структур, поверхностей, позволяет загружать готовую модель в проект или разработать её с нуля;

— Model — система, объединяющая геометрию, выбранные материалы, координатную систему, соединения в сборке, сетку КЭ модели и настройки проведения исследований (Setup). Данный раздел позволяет выбрать область динамического исследования и по окончании расчетов сразу вывести результаты в графически интерактивном виде;

— Solution — расчеты входят в подраздел Model, можно экстраполировать в другие системы анализа;

— Results — результаты проведенных расчетов по исследуемым показателям (деформации, напряжения, изменения скорости, перемещения и т. д.).

Все данные по материалу вносятся в раздел Engineering Data (рис. 6).



Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Aluminum Alloy			Gen	General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.

Properties of Outline Row 3: Aluminum Alloy

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	2690	kg m^-3		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson's R...			
6	Young's Modulus	6,8E+10	Pa		
7	Poisson's Ratio	0,33			
8	Bulk Modulus	6,6667E+10	Pa		
9	Shear Modulus	2,5564E+10	Pa		
10	Specific Heat, C_p	875	J kg^-1 C^-1		

Рис. 6. Карточка материала алюминиевого сплава 6063 (AW-6063) в Ansys Engineering Data

От выбора способа проектирования зависят скорость расчета программным обеспечением и требования, предъявляемые к оборудованию разработчика. Модель энергопоглощающего элемента должна быть расположена вплотную к виртуальному препятствию (под углом 90°), это позволяет в ходе расчета своевременно получать необходимую информацию и данные о процессах, происходящих во время столкновения (рис. 7).

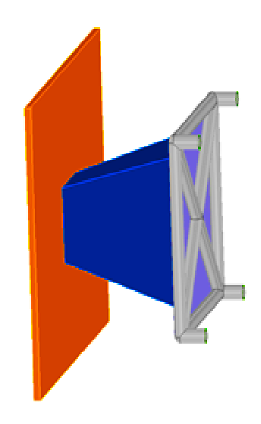
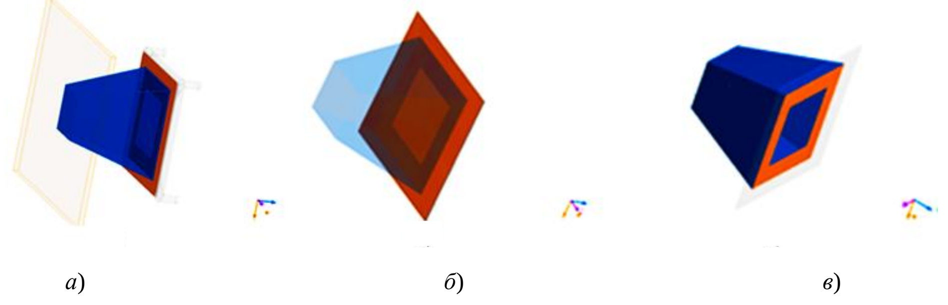


Рис. 7. Пример расположения энергопоглощающего элемента перед жестким препятствием

После установки материалов для всех компонентов сборки настраиваются связи (контакты) между узлами сборки (рис. 8). Настройка контактов компонентов осуществляется в подразделе Connection. Так, обязательным условием для корректного исследования является отсутствие связи (контакта) энергопоглощающего элемента с препятствием, поскольку данные объекты в реальных условиях ничем не связаны. При исследовании были установлены следующие связи (контакты) компонентов:

— рама автомобиля — фронтальная площадка;

— фронтальная площадка — энергопоглощающий элемент.



а) *б)* *в)*

Рис. 8. Пример установки контактов между энергопоглощающим элементом и фронтальной площадкой, установленной на раме автомобиля: а) общий вид контактов в модели конструкции энергопоглощающих элементов; б) контакт между рамой автомобиля и фронтальной площадкой; в) контакт между энергопоглощающим элементом и фронтальной площадкой

После создания сетки и установки контактов в сборке происходит формирование ограничений в модели и задается скорость движения сборки фронтальной части автомобиля (рис. 9). При моделировании фиксируются контур и задняя стенка препятствия, а также вводятся ограничения в смещении рамы автомобиля. Скорость удара энергопоглощающего элемента о жесткое препятствие, согласно техническому регламенту Formula SAE, принимается равной 7 м/с (для данных операций применяются функции Fixed Support, Displacement, Velocity).

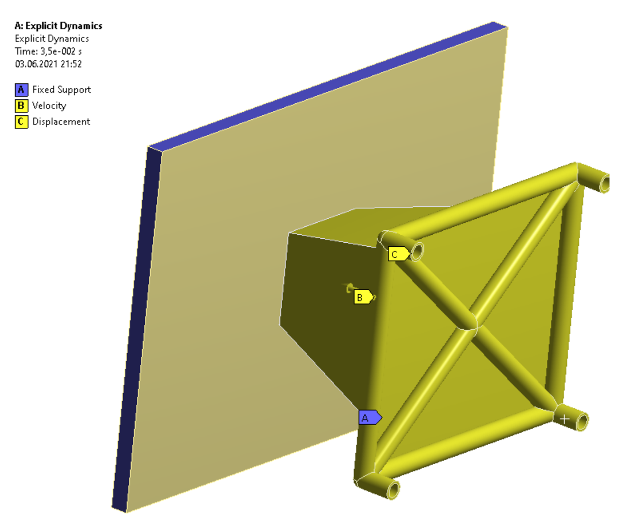
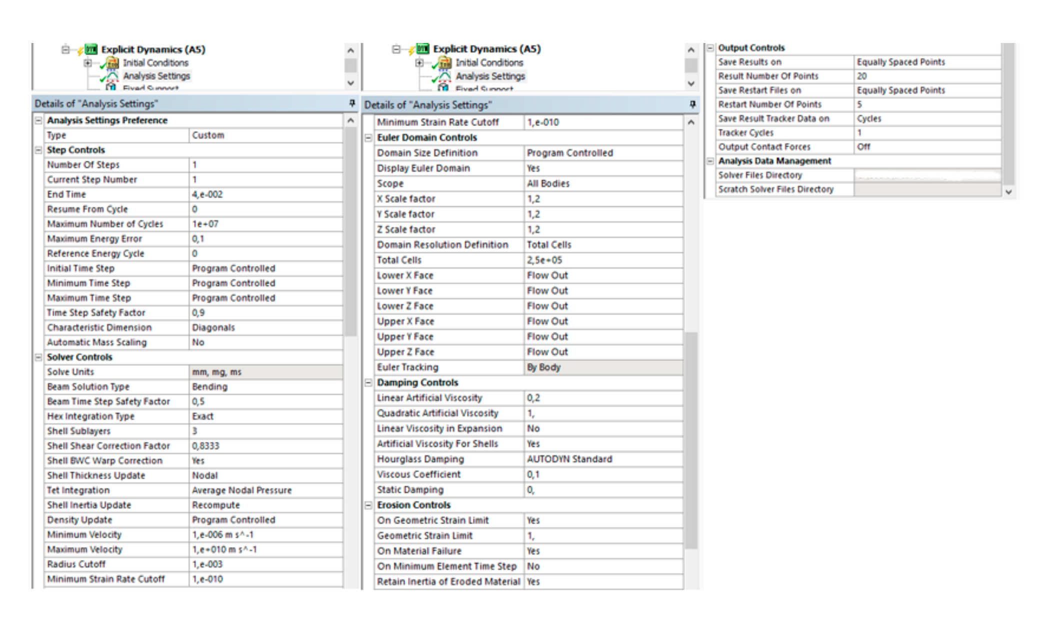


Рис. 9. Настройка перемещений испытуемого образца энергопоглащающего элемента для проведения краш-теста

На последнем технологическом этапе настраиваются параметры проведения динамического испытания при помощи модуля Analysis Setting и выбираются необходимые показатели для расчёта (рис. 10).



Analysis Settings Preference	
Type	Custom
Step Controls	
Number Of Steps	1
Current Step Number	1
End Time	4,e-002
Resume From Cycle	0
Maximum Number of Cycles	1e+07
Maximum Energy Error	0,1
Reference Energy Cycle	0
Initial Time Step	Program Controlled
Minimum Time Step	Program Controlled
Maximum Time Step	Program Controlled
Time Step Safety Factor	0,9
Characteristic Dimension	Diagonals
Automatic Mass Scaling	No
Solver Controls	
Solve Units	mm, mg, ms
Beam Solution Type	Bending
Beam Time Step Safety Factor	0,5
Hex Integration Type	Exact
Shell Sublayers	3
Shell Shear Correction Factor	0,8333
Shell BWC Warp Correction	Yes
Shell Thickness Update	Nodal
Tet Integration	Average Nodal Pressure
Shell Inertia Update	Recompute
Density Update	Program Controlled
Minimum Velocity	1,e-006 m s^-1
Maximum Velocity	1,e+010 m s^-1
Radius Cutoff	1,e-003
Minimum Strain Rate Cutoff	1,e-010

Minimum Strain Rate Cutoff	1,e-010
Euler Domain Controls	
Domain Size Definition	Program Controlled
Display Euler Domain	Yes
Scope	All Bodies
X Scale factor	1,2
Y Scale factor	1,2
Z Scale factor	1,2
Domain Resolution Definition	Total Cells
Total Cells	2,5e+05
Lower X Face	Flow Out
Lower Y Face	Flow Out
Lower Z Face	Flow Out
Upper X Face	Flow Out
Upper Y Face	Flow Out
Upper Z Face	Flow Out
Euler Tracking	By Body
Damping Controls	
Linear Artificial Viscosity	0,2
Quadratic Artificial Viscosity	1,
Linear Viscosity in Expansion	No
Artificial Viscosity For Shells	Yes
Hourglass Damping	AUTODYN Standard
Viscous Coefficient	0,1
Static Damping	0,
Erosion Controls	
On Geometric Strain Limit	Yes
Geometric Strain Limit	1,
On Material Failure	Yes
On Minimum Element Time Step	No
Retain Inertia of Eroded Material	Yes

Output Controls	
Save Results on	Equally Spaced Points
Result Number Of Points	20
Save Restart Files on	Equally Spaced Points
Restart Number Of Points	5
Save Result Tracker Data on	Cycles
Tracker Cycles	1
Output Contact Forces	Off
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	
Scratch Solver Files Directory	

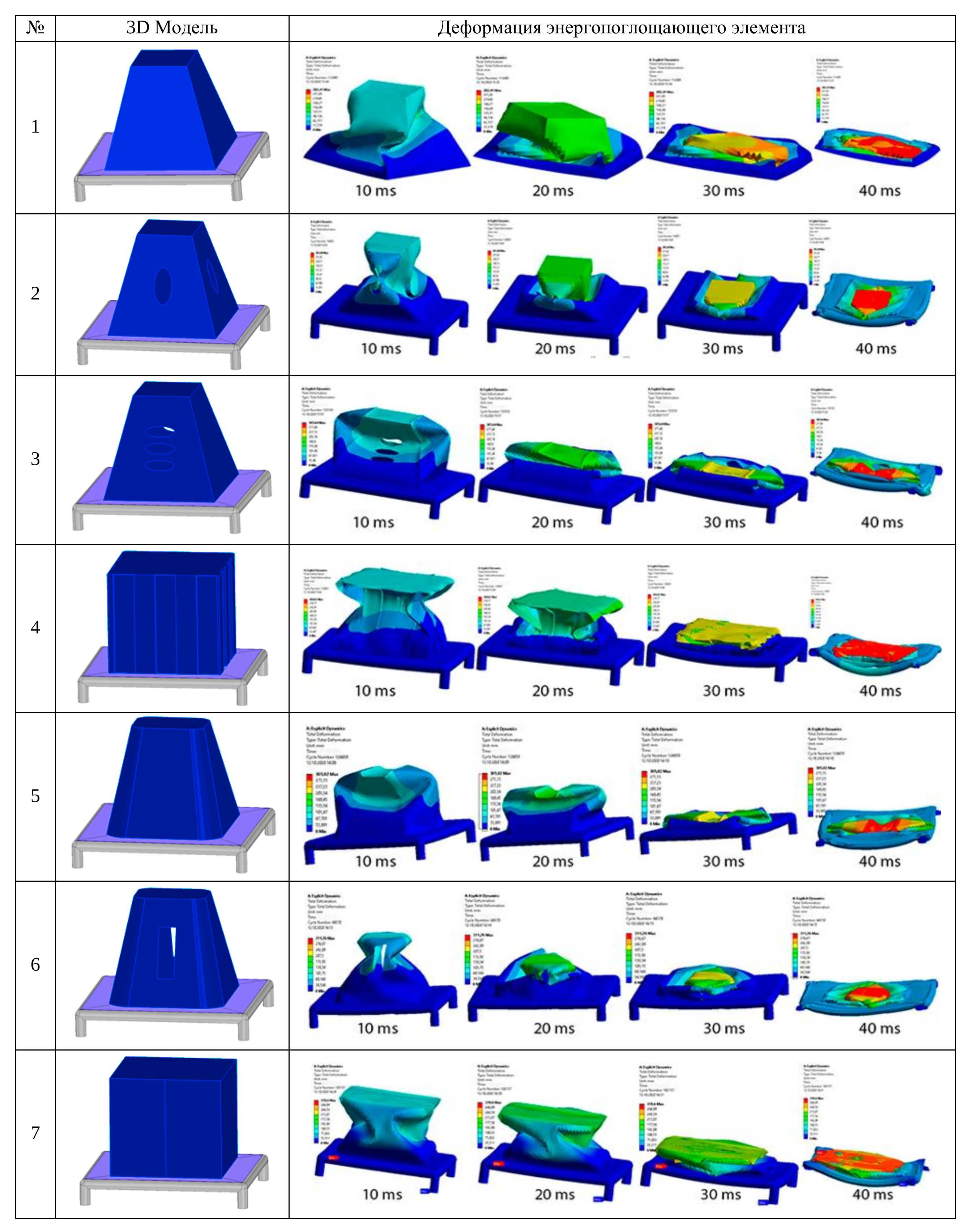
Рис. 10. Настройка параметров проведения динамического испытания Analysis Setting

В настройках рекомендуется устанавливать конечное время расчета (End Time) не более 50 мс (0,05 с), поскольку в среднем за 40 миллисекунд происходит полное гашение удара и последующий отскок автомобиля. При времени симуляции 40 миллисекунд производится в среднем 126000–150000 расчетных операций-циклов.

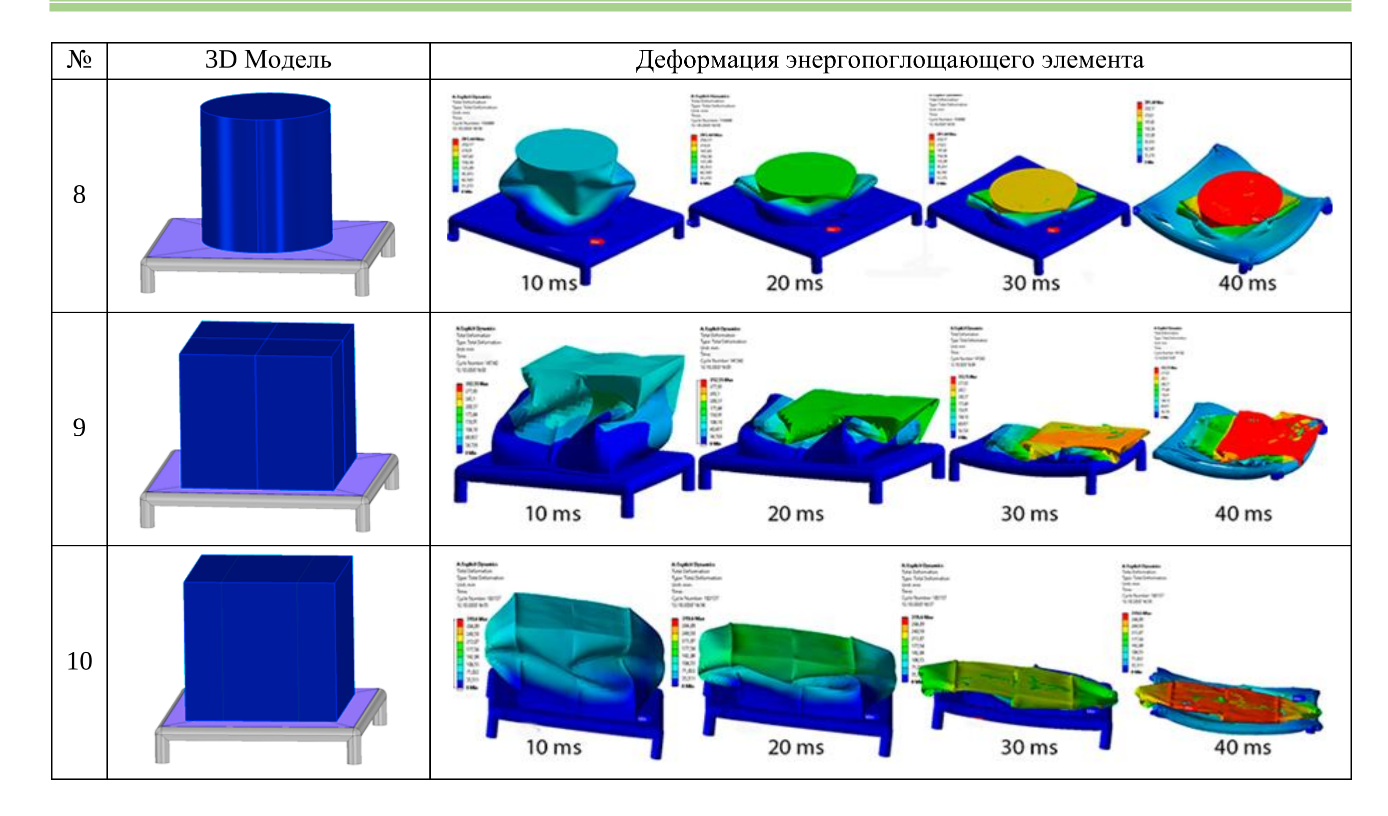
Для поиска наиболее перспективных конструкционных решений энергопоглощающих элементов из алюминиевого сплава и их дальнейшего анализа были проведены краш-тесты с фиксацией показаний в диапазоне от 0 до 40 миллисекунд. Результаты проведенных испытаний отображены в табл. 4.

Таблица 4

Деформации энергопоглощающих элементов в четыре момента времени после удара (10–20–30–40 миллисекунд)



№	3D Модель	Деформация энергопоглощающего элемента
1		10 ms, 20 ms, 30 ms, 40 ms
2		10 ms, 20 ms, 30 ms, 40 ms
3		10 ms, 20 ms, 30 ms, 40 ms
4		10 ms, 20 ms, 30 ms, 40 ms
5		10 ms, 20 ms, 30 ms, 40 ms
6		10 ms, 20 ms, 30 ms, 40 ms
7		10 ms, 20 ms, 30 ms, 40 ms



№	3D Модель	Деформация энергопоглощающего элемента
8		10 ms, 20 ms, 30 ms, 40 ms
9		10 ms, 20 ms, 30 ms, 40 ms
10		10 ms, 20 ms, 30 ms, 40 ms

По результатам проведенного компьютерного моделирования для дальнейшего анализа и выбора перспективных конструкций энергопоглощающих элементов были сформированы сводные графики деформации и эффективно поглощенной энергии (рис. 11, 12).

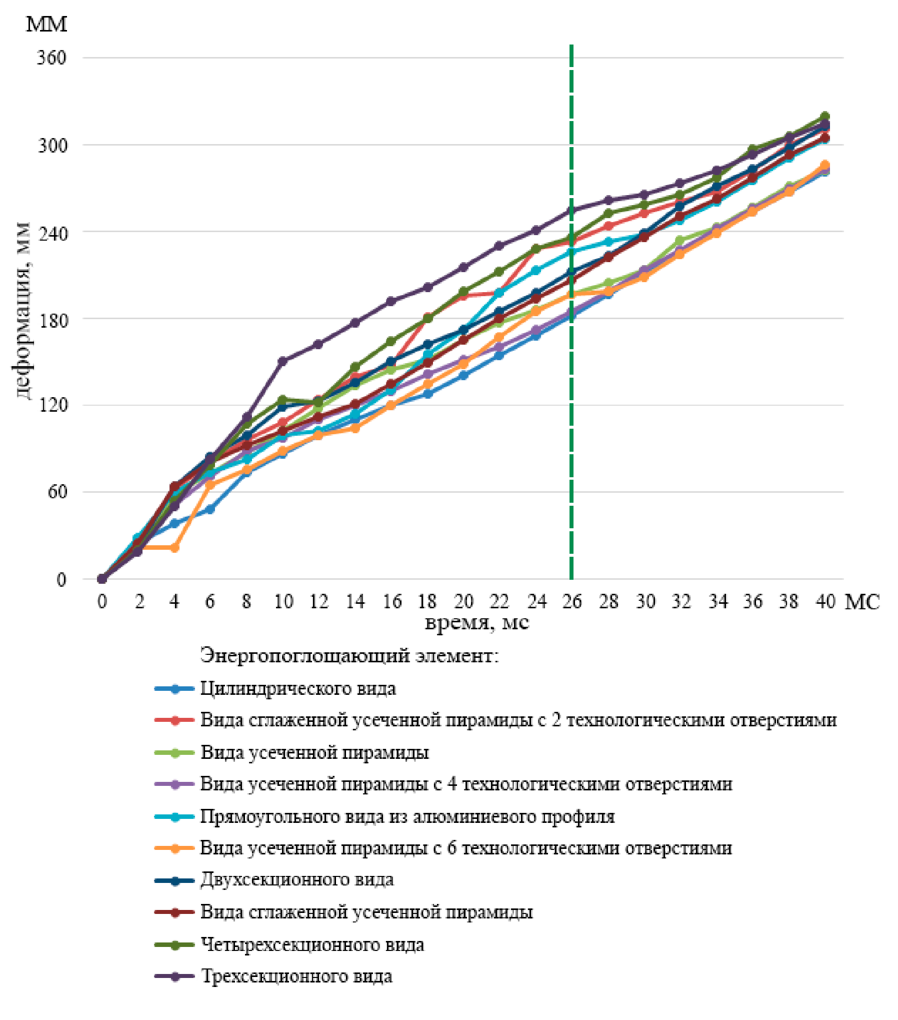


Рис. 11. Диаграмма деформации энергопоглощающих элементов в диапазоне времени 0–40 миллисекунд

Зеленой линией на рис. 11 ограничена зона от 0 до 26 миллисекунд. В этот диапазон времени происходила наибольшая эффективная деформация (Effective Plastic Strain) энергопоглощающего элемента, в ходе которой он не деформировался или испытывал незначительные смещения пространственный каркас автомобиля.

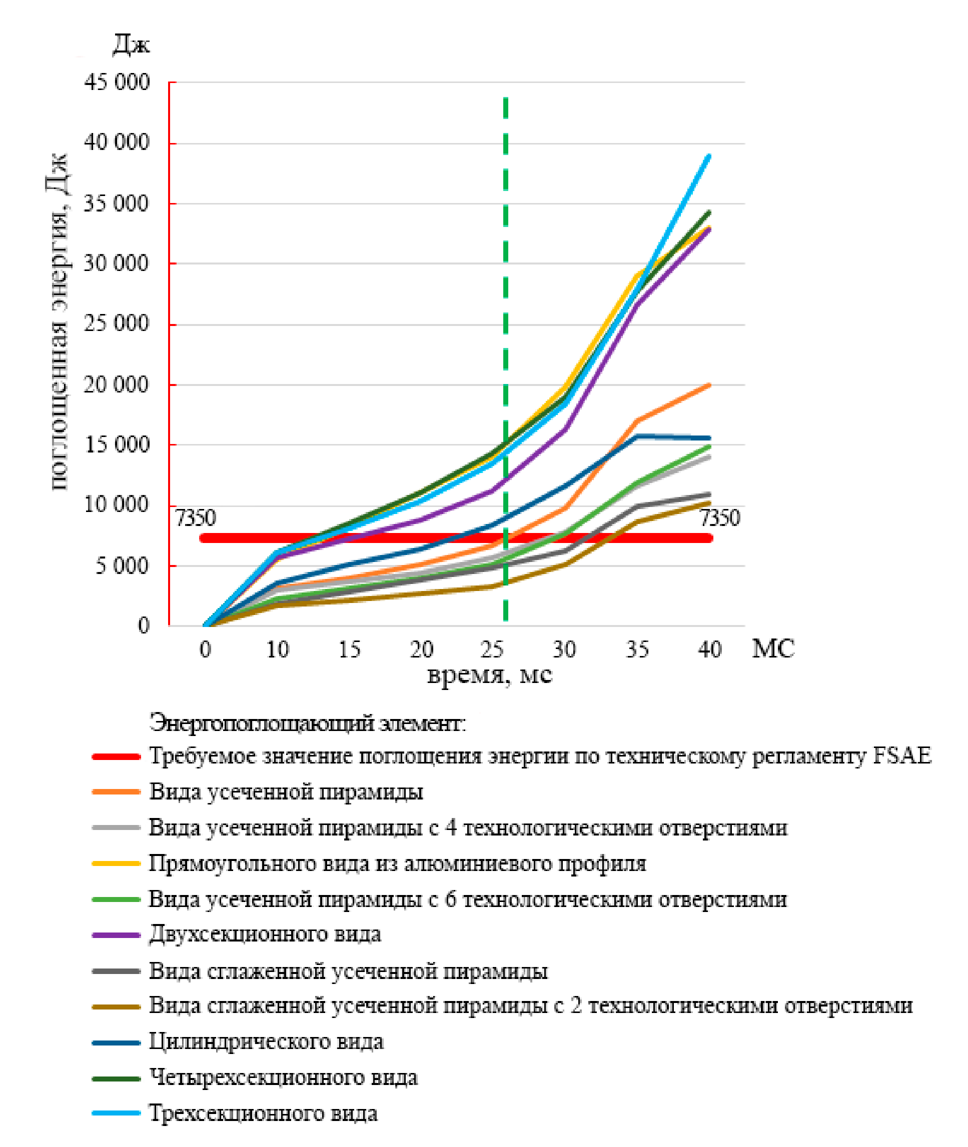
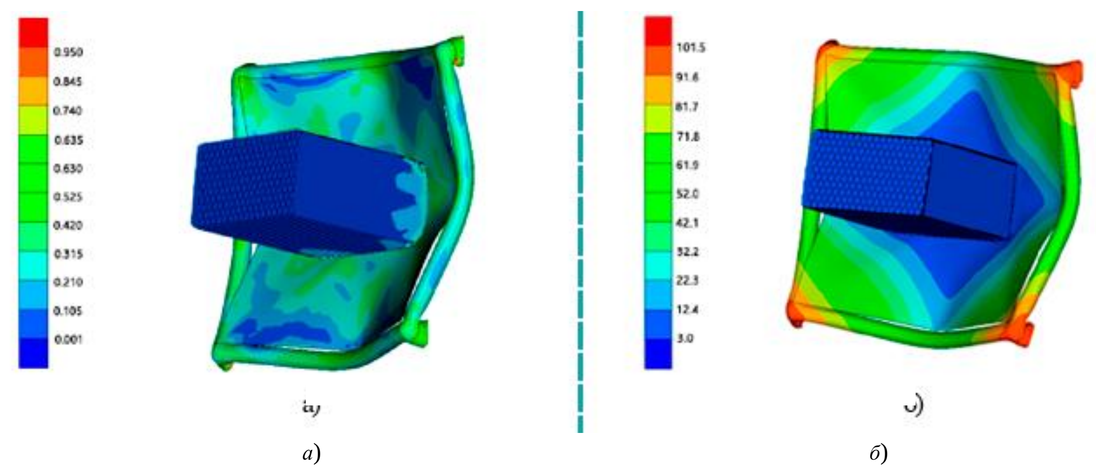


Рис. 12. Диаграмма поглощенной энергии (Дж) энергопоглощающими элементами в диапазоне времени 0–40 миллисекунд

Зеленой линией на рис. 12 также ограничена зона от 0 до 26 миллисекунд. В данный диапазон времени энергопоглощающий элемент поглощал поступающую энергию путем собственной деформации без серьезных повреждений остальных элементов автомобиля. Верхнее значение этого временного диапазона (26 миллисекунд) — это время, за которое энергопоглощающий элемент из алюминиевого сплава способен эффективно гасить удар, при правильно рассчитанной конструкции это происходит без значительных перегрузок.

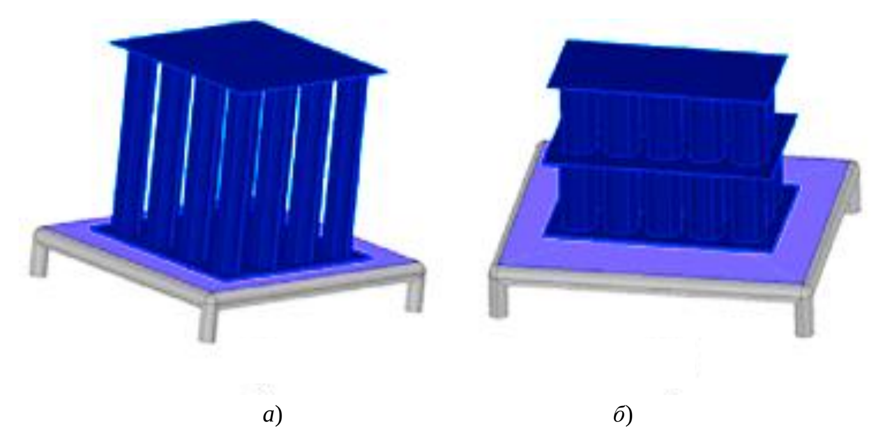
Результаты расчёта показали, что конструкция энергопоглощающего элемента из алюминиевых сот не удовлетворяет требованиям безопасности технического регламента Formula SAE. Жесткость данного конструкции оказалось слишком большой, что стало причиной преждевременной деформации фронтальной пластины и рамы автомобиля, а возникающие перегрузки >20 g не позволяют использовать данный пассивный элемент безопасности в автомобиле Formula SAE (рис. 13).



а) *б*)

Рис. 13. Напряжения и деформации в энергопоглощающем элементе из алюминиевых сот:
а) напряжения в энергопоглощающем элементе из алюминиевых сот (ГПа);
б) деформация в энергопоглощающем элементе из алюминиевых сот (мм)

Дополнительно были исследованы энергопоглощающие многосоставные элементы с цилиндрическими конструкциями, но они оказались абсолютно неэффективными (рис. 14). Высокая жесткость конструкции не позволила в достаточном количестве гасить удар за счет деформации энергопоглощающего элемента, поэтому использование данных конструкций в автомобиле, выполненном по регламенту Formula SAE, исключено.



а) *б*)

Рис. 14. Многосоставные энергопоглощающие элементы:
а) одноуровневый энергопоглощающий элемент с 16 цилиндрами; б) двухуровневый энергопоглощающий элемент с 15 цилиндрами на первом и 10 цилиндрами на втором уровне

Для дальнейшего анализа проблемы была сформирована градация энергопоглощающих элементов по их эффективности, которая построена по совокупным качествам (рис. 15). Они включают в себя способность поглощать достаточное количество поступающей энергии, осуществлять гашение удара без превышения допустимых показателей перегрузки, способность к деформации без преждевременного разрушения или смещения энергопоглощающего элемента.

Энергопоглощающий элемент из алюминиевого сплава

Эффективность	Вид элемента
Высокая эффективность	Вида усеченной пирамиды Вида усеченной пирамиды с 4 технологическими отверстиями Двухсекционного вида Трехсекционного вида Четырехсекционного вида
Средняя эффективность	Вида сглаженной усеченной пирамиды Вида усеченной пирамиды с 6 технологическими отверстиями Прямоугольного вида из алюминиевого профиля Цилиндрического вида
Низкая эффективность	Вида сглаженной усеченной пирамиды с 2 технологическими отверстиями Вида аллюминиевых сот Многосоставной с цилиндрическими элементами

Рис. 15. Градация энергопоглощающих элементов по эффективности

Дальнейшее исследование производилось только для энергопоглощающих элементов категории «высокая эффективность». Данные для графиков формировались с контрольной точки, расположенной по центру пересечения фронтальных труб пространственного каркаса безопасности автомобиля (рис. 16).

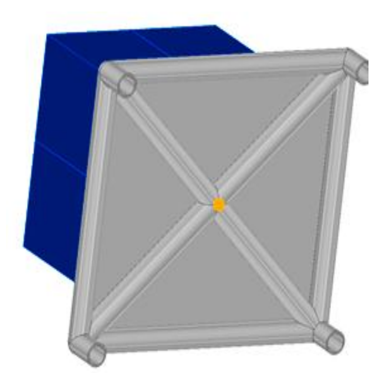


Рис. 16. Контрольная точка (обозначена желтым цветом) на конструкции энергопоглощающего элемента

Графики перемещения, скорости и ускорения для контрольной точки эффективных вариантов конструкции энергопоглощающих элементов представлены на рис. 17, 18.

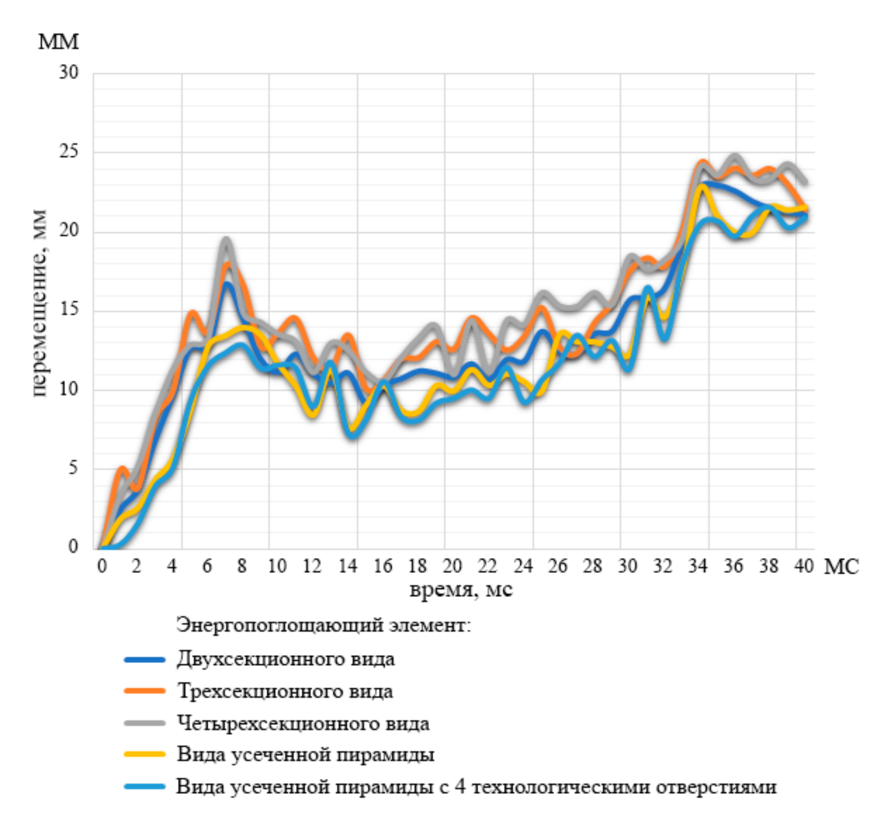


Рис. 17. График зависимости перемещения энергопоглощающей конструкции от времени (результаты получены с контрольной точки рис. 16)

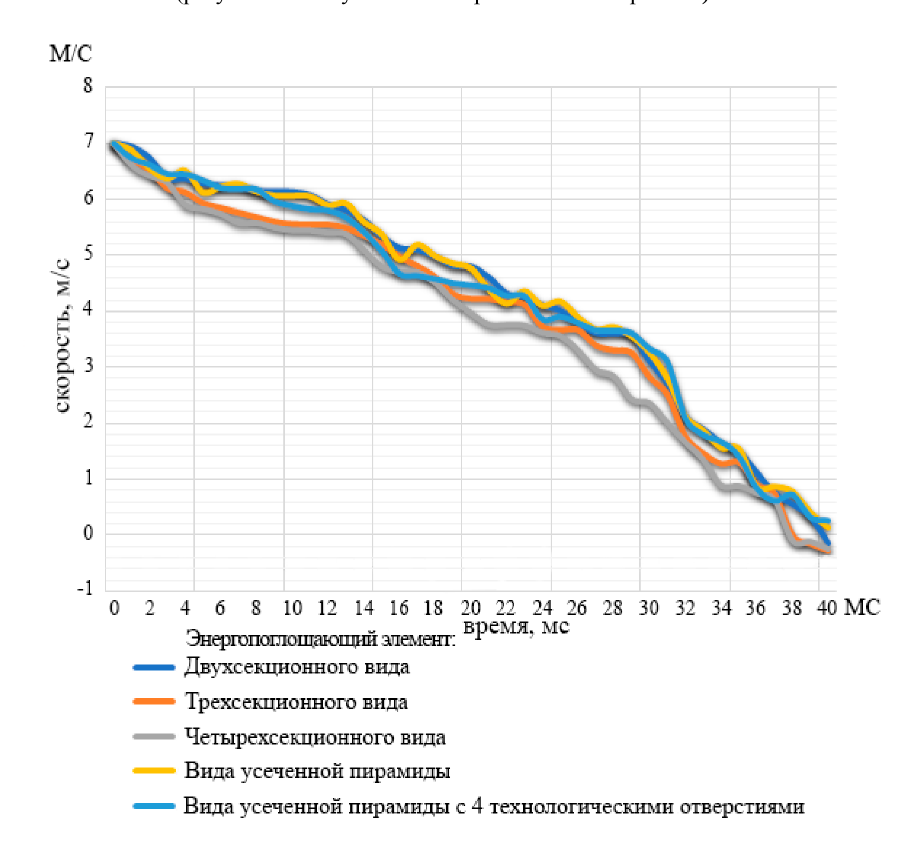


Рис. 18. График зависимости скорости замедления энергопоглощающей конструкции от времени (результаты получены с контрольной точки рис. 16)

В процессе симуляции были идентифицированы основные зоны концентрации напряжений (рис. 19). Так, установлено, что основным нагрузкам подвергается пересечение (центр) диагональных труб пространственной рамы, угловые элементы фронтальной части каркаса автомобиля, периметр пластины, к

которой крепится энергопоглощающий элемент, в местах структурных сгибов и креплений энергопоглощающего элемента.

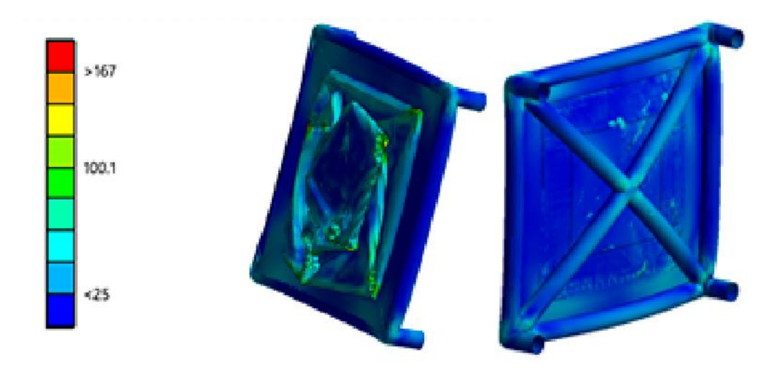


Рис. 19. Места интенсивной концентрации накопленных напряжений (ГПа)

На основе компьютерного моделирования можно сделать вывод о том, что все представленные энергопоглощающие элементы из категории «высокая эффективность» могут использоваться в качестве пассивной системы безопасности гоночного болида. Категория эффективных энергопоглощающих элементов имеет хорошо прогнозируемое смятие в случае фронтального удара. Дополнительно несколько конструкций было протестировано фронтальным ударом с 40-процентным перекрытием, которое считается самым сложным и тяжелым тестированием элементов безопасности из существующих (рис. 20) [11].

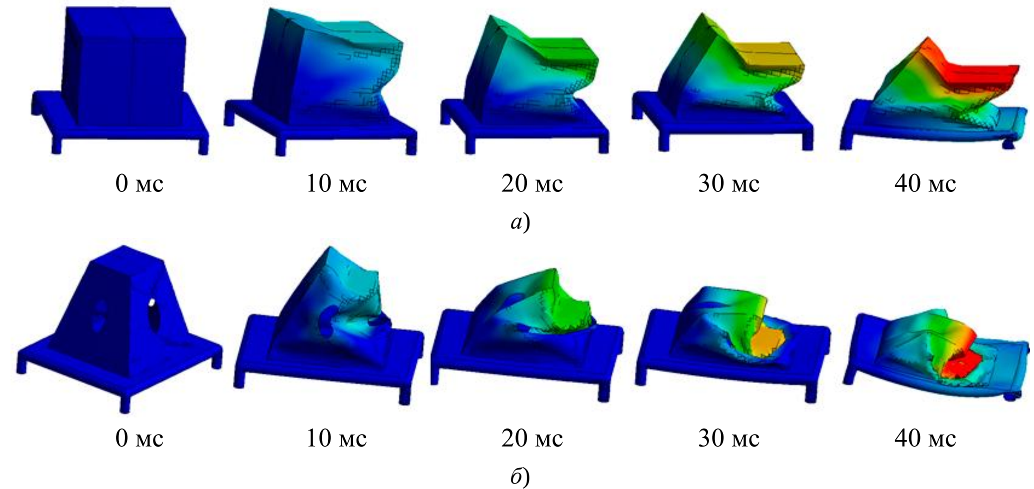


Рис. 20. Краш-тест энергопоглощающих элементов с 40-процентным перекрытием:
а) ЭПЭ двухсекционного вида; б) ЭПЭ вида усеченной пирамиды
с четырьмя технологическими отверстиями

Тестирование энергопоглощающего элемента с 40-процентным перекрытием считается успешным, если в результате столкновения не была преждевременно разрушена конструкция элемента и сохранена его устойчивость на фронтальной пластине. В результате тестирования краш-тестом с 40-процентным перекрытием испытуемых образцов энергопоглощающих элементов из алюминия можно сделать вывод о том, что податливость материала позволяет выдерживать деформации в конструкции без разрушения, сдвигов и с максимально возможным распределением (в случае частичного контакта энергопоглощающего элемента и препятствия) напряжений и нагрузок по всей конструкции указанного элемента.

Энергопоглощающие элементы из категории «высокая эффективность» отличаются стабильностью при проведении экспериментальных краш-тестов: конструкционное смещение относительно горизонтальной оси не существенное и соответствует требованиям технического регламента FSAE. Поглощение энергии и перегрузки также соответствуют техническому регламенту FSAE.

Проанализировав полученные данные по неэффективным конструкциям энергопоглощающих элементов, следует отметить пропорциональное распределение поглощённой энергии отдельными конструкционными элементами автомобиля. При ударе энергопоглощающего элемента низкой эффективности (например, из алюминиевых сот или многосоставного) не поглощается требуемое количество энергии (7350 Дж), при этом наибольшую величину поглощенной энергии берет на себя передняя перегородка автомобиля или опора пластины. Второй по значимости (уровню) поглощения поступающей энергии является

пластина, к которой крепится энергопоглощающий элемент. Остальную энергию поглощает рама автомобиля. Энергопоглощающие элементы в случае недостаточной или избыточной конструкционной жесткости поглощают лишь 15–35 % от требуемой энергии, что является недопустимым для использования в качестве основного деформируемого элемента. Процентное отношение поглощаемой энергии при ударе конструкционными элементами автомобиля приведено в табл. 5.

Таблица 5

Процентное отношение поглощаемой энергии конструкционными элементами автомобиля

Наименование конструкционного элемента автомобиля	Высокая эффективность	Средняя эффективность	Низкая эффективность
1	2	3	4
Энергопоглощающий элемент	65–100 %	35–65 %	15–35 %
Передняя пластина	5–15 %	15–25 %	20–35 %
Каркас болида	5–15 %	10–25 %	15–45 %

Представленные энергопоглощающие элементы (за исключением низкоэффективных согласно таблице градации по эффективности энергопоглощающих элементов) по общей поглощенной энергии удовлетворяют предъявляемым требованием технического регламента FSAE. Однако всегда возможно улучшение конструкции энергопоглощающего элемента за счет конструкционных изменений и корректировки состава алюминиевого сплава.

Из научных публикаций известно, что энергопоглощающие элементы конической формы или вида усеченной пирамиды эффективнее других позволяют управлять процессом энергопоглащения при соударении автомобиля с жесткой преградой (рис. 21) [12].



Рис. 21. Модель энергопоглощающего элемента с пазовой системой крепления, зафиксированной клеевой основой Impax

Также было обнаружено, что конструктивные особенности энергопоглощающих элементов (технологические отверстия, изгибы профиля и так далее) позволяют управлять не только прохождением деформации, но и геометрической устойчивостью конструкции. В ходе анализа деформации энергопоглощающих элементов, обладающих эллиптическими (или другой формы) технологическими отверстиями, установлено, что они эффективно перераспределяют энергию деформации по всей конструкции в процессе столкновения автомобиля с препятствием.

В случаях недостаточной жесткости конструкции энергопоглощающих элементов происходит либо его преждевременное разрушение, либо незначительное поглощение энергии со значительным смещением всей конструкции. Поэтому разработчикам пассивных систем безопасности, в частности энергопоглощающих элементов, следует принимать во внимание возможное перераспределение энергии между элементами системы безопасности. Так, изменяя конструкционную форму, размер и материал изготовления энергопоглощающего элемента, можно перераспределять энергию в процессе соударения.

Проектируя пассивные элементы безопасности, в том числе энергопоглощающие элементы автомобиля, следует учитывать сильное влияние формы и размеров конструкции на ее устойчивость при деформировании. В процессе разработки эффективного энергопоглощающего элемента необходимо добиваться деформирования конструкции по всей его осевой длине.

Выводы. Результаты проведенного исследования различных конструкций энергопоглощающих элементов свидетельствуют о том, что распределение напряжений и деформаций в них зависит от формы, размеров и материала изготовления ЭПЭ. При моделировании и дальнейших испытаниях энергопоглощающих элементов необходимо добиваться прохождения деформирования конструкции по всей ее длине.

Установлено, что потеря устойчивости конструкции энергопоглощающего элемента приводит к увеличению его деформации, что влечет за собой разрушение испытуемого образца.

На основе моделирования поведения разработанных вариантов конструкций энергопоглощающих элементов при фронтальном ударе установлено:

— для жестких (недеформируемых) энергопоглощающих элементов деформация определяется перемещением передней стенки автомобиля;

— для энергопоглощающих элементов низкой и средней жесткости основная часть перемещения (деформации) во время удара происходит за счет деформации энергопоглощающего элемента;

— анализ напряжений типовых конструкций энергопоглощающих элементов, возникающих при ударе о жесткое препятствие, показал, что основные зоны максимальной концентрации напряжений расположены в середине труб фронтальной части каркаса автомобиля, в местах крепления передней (фронтальной) пластины, а также в местах перегиба стенки энергопоглощающего элемента;

— наибольшее падение скорости автомобиля наблюдается в момент начала деформации передней пластины, когда деформации самого энергопоглощающего элемента уже недостаточно. Как правило, это период времени с 30 до 40 миллисекунд.

Анализ деформации энергопоглощающего элемента, передней стенки и рамы позволил установить связанность всех конструктивных элементов гоночного автомобиля в области обеспечения пассивной безопасности. При избыточной поступающей кинетической энергии каждый конструкционный элемент распределяет и поглощает определенный процент энергии.

Библиографический список

1. Транспорт. Основные итоги работы транспорта. Пассажирооборот по видам транспорта по Российской Федерации / Федеральная служба государственной статистики : [сайт]. — URL: https://rosstat.gov.ru/folder/23455 (дата обращения : 01.02.2022).

2. Johannesson, P. Guide to Load Analysis for Durability in Vehicle Engineering / P. Johannesson, M. Speckert // Chichester, United Kingdom : John Wiley and Sons, 2013. — 456 p. http://dx.doi.org/10.1002/9781118700518

3. Advanced Composite Materials for Automotive Applications: Structural Integrity and Crashworthiness. / A. Hallal, A. M. Elmarakbi, A. Shaito, H. H El-Hage // Sunderland, United Kingdom: John Wiley and Sons, 2013. — P. 1–28. http://dx.doi.org/10.1002/9781118535288.ch1

4. Автомобилестроение / Алюминиевая ассоциация : [сайт]. — URL: https://www.aluminas.ru/sectors/automotive/ (дата обращения : 01.02.2022).

5. Применение алюминия. Алюминий в транспорте / Сайт об алюминии : [сайт]. — URL: https://aluminiumleader.ru/application/transport/ (дата обращения : 01.02.2022).

6. Жидков, А. В. Применение системы Ansys к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования / А. В. Жидков. — Нижний Новгород : Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 2006. — 115 с.

7. Технобаттл «Формула Студент 2021». Регламент соревнований / Formula Student Russia : [сайт]. — URL: http://fstudent.ru/documents (дата обращения : 01.02.2022).

8. 6063. Алюминиевый сплав. Деформируемые сплавы / Aluminium-guide.com : [сайт]. — URL: https://aluminium-guide.com/splavy/deformiruemye-splavy/ (дата обращения: 01.02.2022).

9. Ansys Autodyn / Cadfem Ansys : [сайт]. — URL: https://www.ansys.com/products/structures/ansys-autodyn (дата обращения : 01.02.2022).

10. Madenci, E. / The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS // E. Madenci, I. Guven // Boston, United States : Springer US, 2015. — 657 p. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4899-7550-8

11. Рейтинги / Министерство транспорта США (NHTSA) : [сайт]. — URL: https://www.nhtsa.gov/ratings (дата обращения : 01.02.2022).

12. Numerical-Experimental Correlation of Dynamic Test of a Honeycomb Impact Attenuator for a Formula SAE Vehicle / A. Vettorello, G. A. Campo, G. Goldoni, M. Giacalone // Metals - Open Access Metallurgy Journal. — 2020. — Vol. 10, iss. 5. — 22 p. http://dx.doi.org/10.3390/met10050652

Поступила в редакцию 21.02.2022
Поступила после рецензирования 03.03.2022
Принята к публикации 04.03.2022

Об авторах:

Жуков Леонид Александрович, магистрант кафедры «Транспортные средства и техносферная безопасность» Череповецкого государственного университета (162600, РФ, г. Череповец, пр. Луначарского, 5), ORCID, LA-Zhukov@mail.ru.

Кузьминов Александр Леонидович, профессор кафедры «Транспортные средства и техносферная безопасность» Череповецкого государственного университета (162600, РФ, г. Череповец, пр. Луначарского, 5), доктор технических наук, ORCID, 1954alk@gmail.com.

Заявленный вклад соавторов:

Л. А. Жуков — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, техническая разработка, проведение симуляций и расчетов, подготовка текста, анализ результатов и формирование выводов; А. Л. Кузьминов — научное руководство, технический нормоконтроль, анализ результатов исследования, доработка текста, корректировка выводов.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ







Научная статья
УДК 621. 762. 1
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-69-75

Формирование структурных особенностей порошковых материалов при охлаждении после термической обработки

М. С. Егоров, Р. В. Егорова, Г. Г. Цорданиди
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. В последнее время в порошковой металлургии все чаще стали применять спеченные материалы и изделия из них. В связи с этим остро стоит вопрос о получении спеченных изделий, обладающих высокими эксплуатационными свойствами. Чтобы добиться таких свойств, материалы подвергают термической обработке. Данная процедура значительно влияет на их структуру и механические свойства. В производстве спеченные материалы наиболее часто подвергаются последующей закалке и отпуску, вследствие чего устанавливается их равновесная структура, прекращается рост зерна, улучшаются прочностные характеристики.

В статье рассмотрены проблемы, которые возникают при формировании качественной структуры дисперсно-упрочненных сплавов в результате их термической обработки.

Постановка задачи. Задача данной работы — провести исследование фазовых изменений, происходящих при охлаждении порошковых сталей и сплавов, чтобы определить режимы их термической обработки с целью формирования оптимальных условий для мартенситного превращения аустенита.

Теоретическая часть. Фазовые превращения в порошковых сталях совершаются в интервале температур, при котором происходит перестройка их структур, а вследствие этого изменяются свойства материала. Основными факторами, влияющими на фазовые превращения, являются химический состав сплава, дефектность структуры и величина зерен. Изменения структуры и свойств сплавов рассматриваются в сравнении с компактными материалами. Термическая обработка существенно влияет на фазовые и структурные характеристики порошковых материалов, которые связаны с механическими характеристиками самих сплавов.

Выводы. Проведенные исследования показали, что с увеличением гетерогенности твердого раствора сталей температура начала мартенситного превращения повышалась. Понижение температуры мартенситного превращения с увеличением степени гомогенности твердого раствора происходит из-за обогащения его углеродом и другими легирующими элементами (хромом, молибденом). С повышением процентного содержания углерода, увеличением пористости образцов точка начала мартенситного превращения также понижается. На температуру начала мартенситного превращения не оказывают влияния карбиды, которые находятся с аустенитом. Данные выводы помогут оценить механические свойства материалов, а также выработать рекомендации для практического применения термической обработки при изготовлении изделий сложной формы.

Ключевые слова: порошковые стали, термическая обработка, фазовые превращения, мартенсит, аустенит.

Для цитирования: Егоров, М. С. Формирование структурных особенностей порошковых материалов при охлаждении после термической обработки / М. С. Егоров, Р. В. Егорова, Г. Г. Цорданиди // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 2. — С. 69–75. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-69-75

Original article

Formation of structural features of powder materials during cooling after heat treatment

M. S. Egorov, R. V. Egorova, G. G. Tsordanidi
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. Recently, sintered materials and products made of them have been increasingly used in powder metallurgy. In this regard, the issue of obtaining sintered products with high performance properties is acute. To achieve such properties, the materials are subjected to heat treatment. This procedure significantly affects their structure and mechanical properties. In production, sintered materials are most often subjected to subsequent hardening and tempering, as a result of which their equilibrium structure is established, grain growth stops, and strength characteristics improve.
The article discusses the problems that arise in the formation of the qualitative structure of dispersed-hardened alloys as a result of their heat treatment.
Problem Statement. The objective of this work is to study the phase changes in the process of cooling of powder steels and alloys in order to determine the modes of their heat treatment in order to form optimal conditions for the martensitic transformation of austenite.
Theoretical Part. Phase transformations in powder steels occur in the temperature range at which their structures are rearranged, and as a result, the properties of the material change. The main factors affecting the phase transformations are the chemical composition of the alloy, the structure imperfection and the size of the grains. Changes in the structure and properties of alloys are considered in comparison with compact materials. Heat treatment significantly affects the phase and structural characteristics of powder materials, which are related to the mechanical characteristics of the alloys themselves.
Conclusions. The conducted studies have shown that with an increase in the heterogeneity of the solid solution of steels, the temperature of the beginning of the martensitic transformation increased. A decrease in the temperature of the martensitic transformation with an increase in the degree of homogeneity of the solid solution occurs due to its enrichment with carbon and other alloying elements (chromium, molybdenum). With an increase in the percentage of carbon, an increase in the porosity of samples, the starting point of martensitic transformation also decreases. The temperature of the beginning of the martensitic transformation is not affected by carbides that are with austenite. These conclusions will help us to evaluate the mechanical properties of materials, as well as to develop recommendations for the practical application of heat treatment in the manufacture of products of complex shape.

Keywords: powder steels, heat treatment, phase transformations, martensite, austenite

For citation: Egorov M. S., Egorova R. V., Tsordanidi G. G. Formation of structural features of powder materials during cooling after heat treatment. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2022;2:69−75. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-69-75

Введение. Современные технологии — трехмерная печать, инжекционное формование, искровое плазменное спекание — стали стимулом для нового витка развития порошковой металлургии. Это относится и к получению порошков с заданными свойствами, появлению новых способов оценки свойств порошков и порошковых смесей, а также к развитию комплексных методик для оценки свойств получаемых порошковых материалов.

Наиболее массовым видом продукции порошковой металлургии являются материалы и изделия конструкционного назначения, которые используются в различных узлах и механизмах машин. Эти детали в зависимости от выбранного материала и технологии могут обладать высокими твердостью, прочностью, износостойкостью, жаростойкостью и специальными свойствами.

К сожалению, особенности структуры спеченных порошковых сплавов не позволяют применять к ним параметры и режимы обычной термической обработки литых и кованых сталей. Поэтому существует проблема:

как и за счет чего повысить механические и эксплуатационные свойства таких сплавов? Решить ее можно после тщательного исследования структурных превращений спеченных порошковых сплавов.

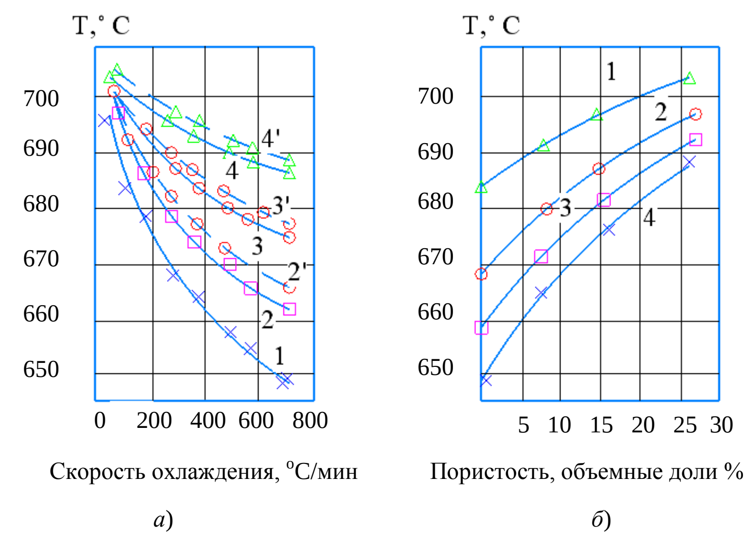
Постановка задачи. Одним из путей решения данной проблемы является предложенное авторами исследование фазовых превращений порошковых сталей для определения рациональных режимов их термической обработки, выявления влияния свободного углерода на смещение температуры фазовых превращений при охлаждении. Процесс охлаждения порошковых сталей и сплавов является основным процессом при термической обработке. При этом необходимо подчеркнуть, что основополагающими процессами формирования спеченных сплавов являются структурообразование материала и создание качественных связей между частицами сплавов на уже имеющихся и вновь образующихся контактных поверхностях. Значение свойств порошковых сплавов во многом регламентируется плотностью материала. При достижении различными методами деформирования высоких плотностей их свойства могут превосходить свойства компактных материалов аналогичного состава. Это можно связать с их большой однородностью и мелкозернистостью, а также с отсутствием анизотропии. Такие материалы обладают широким комплексом физических, механических и эксплуатационных свойств.

Теоретическая часть. Термическая обработка порошковых сталей является эффективным способом улучшения их механических свойств и повышения износостойкости. В практике термической обработки стали превращения происходят самопроизвольно при изменении внешних условий (температуры, давления), причем превращения протекают в сторону уменьшения свободной энергии. Следует отметить, что равновесная температура A1, являясь термодинамическим параметром системы, не зависит от исходной структуры и скорости нагрева или охлаждения сплава. В то же время эта температура является функцией состава сплава, поэтому для порошковых сталей, характеризующихся неодинаковым содержанием углерода и легирующих элементов в структуре и в объёме, однозначно определить ее трудно [1–3].

По условиям фазового равновесия превращение аустенита в перлит может начаться только ниже температуры A_1. Превращение состоит в перестройке решетки гамма-альфа и диффузионном перераспределении концентрации углерода между фазами. С увеличением разности свободная энергия увеличивается и образование критического зародыша аустенита уменьшается. Но диффузионная подвижность атомов также уменьшается, и поэтому кривая скорости превращения имеет максимум при степени переохлаждения порядка 150°C. Для компактных углеродистых сталей это порядка 550°C. Для порошковых пористых сталей кривые охлаждения сдвинуты вправо и вверх, причем тем больше, чем меньше по абсолютной величине энергия диффузионного насыщения. С увеличением свободной металлической поверхности пор энергия активации уменьшается, что приводит к увеличению размера критического зародыша. К такому же результату приводят увеличение негомогенности твердого раствора и повышение дефектности металлических частиц.

С увеличением в стали дисперсных неметаллических включений и ростом межчастичных границ увеличивается вероятность гетерогенного зарождения новой фазы вследствие более высокого вклада силы граничного взаимодействия в свободную энергию образования зародыша. Это также приводит к увеличению абсолютного значения энергии и уменьшению образования критического зародыша. Таким образом, чем меньше по абсолютной величине энергия уплотнения и больше сила, тем ощутимее кривые скорости превращения сдвигаются вправо и вверх.

Несмотря на высокую степень легирования у порошковых сталей инкубационный период оказался невелик. Уже на первой минуте изотермической выдержки наблюдался распад аустенита. В компактных сталях аналогичного состава инкубационный период составлял несколько минут. Таким образом, макро-микронегомогенность твердого раствора, как и плотность, способствовали уменьшению устойчивости переохлажденного аустенита. На рис. 1 показаны зависимости аутентичного превращения спеченных сталей в зависимости от скорости охлаждения при различной пористости, а также от плотности образцов. Температура выбиралась в зависимости от положения точки начала превращения A_1.



а) *б*)

Рис. 1. Отношение линейной зависимости точек начала мартенситного превращения Ar_1 дисперсно-упрочненных сплавов: а) от максимального охлаждения (плотность – 1–0 %; 2 – 2′ – 5–10 %; 3 – 3′ – 12–15 % и 4 – 4′ – 20–30 %); б) от плотности (скорость после закалки – 1 – 120°С/мин; 2 – 250–300°С/мин; 3 – 400–500°С /мин и 4 – 600–700°С/мин); сплошные линии – данные для образцов из сплава ПЛ-ПЖ4М2+0,8 % С, штриховые – данные для образцов из сплава ПЛ-ПЖ4М+0,8 % С

Максимальная скорость превращения аустенита пористых порошковых сталей больше, чем компактных. Следовательно, минимальная устойчивость пористого аустенита будет наблюдаться при температурах выше 500°С. Поэтому С-образные кривые изотермического превращения пористой стали эвтектоидного состава приближаются к оси ординат и смещаются вверх.

В доэвтектоидной стали изотермический распад переохлажденного аустенита начинается с выделением феррита, а в заэвтектоидной — с выделением избыточного цементита. Эти превращения на С-образной диаграмме отмечаются дополнительным линиями. Инкубационный период и время полного изотермического распада аустенита у доэвтектоидной компактной стали меньше, чем у эвтектоидной, у которой аустенит является более гомогенным и, следовательно, более устойчивым (рис. 2).

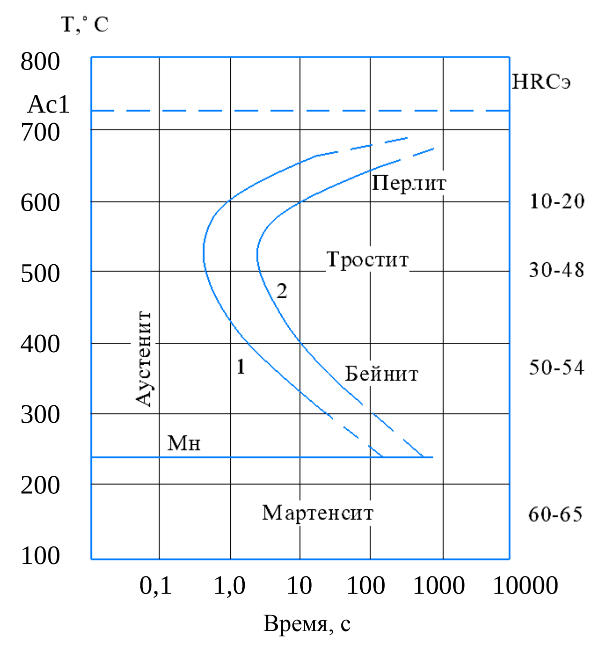


Рис. 2. График зависимости превращения аустенита эвтектоидной стали спеченных образцов, полученных механическим смешиванием из шихты сплава ПЛ-ПЖ4М2+0,8 % С

Аустенит, переохлажденный до низких температур, теряет термодинамическую устойчивость, но в связи с тем, что диффузионная подвижность атомов углерода полностью подавлена, превращение не может осуществляться по перлитному механизму. Образующийся в результате бездиффузионного превращения аустенита пересыщенный твердый раствор углерода в альфа-железе с такой же концентрацией, как и у исходного аустенита, называется мартенситом. Для получения мартенситной структуры необходимо охладить

полученный образцы с критической скоростью, чтобы время его нахождения в интервале температур устойчивого состояния переохлажденного аустенита было меньше продолжительности инкубационного периода его распада. Минимальная скорость, отвечающая этим условиям, называется критической скоростью закалки. С уменьшением устойчивости переохлажденного аустенита и смещением С-образной кривой влево критическая скорость закалки увеличивается (рис. 2).

В зависимости от состава, плотности, содержания углерода и легирующих элементов, степени неоднородности, величины зерна аустенита и других особенностей структуры отмечают различные критические скорости закалки. На них большое влияние оказывает степень перегрева аустенита. Чем выше температура закалки, тем ниже ее критическая скорость. Горизонтальная линия $М_н$ на С-образной диаграмме показывает температуру начала бездиффузионного мартенситного превращения (рис. 2). Для образцов углеродистых сталей, рассматриваемых авторами, данная температура составляет порядка 250°С. В течение 100 секунд происходит мартенситное превращение, в результате которого образуется различные твердые растворы. В отличие от перлитного превращения, температура начала мартенситного превращения не зависит от скорости охлаждения (в диапазоне скоростей, применяемых для промышленной закалки стали). Чтобы мартенситное превращение развивалось, необходимо непрерывно охлаждать углеродистую порошковую сталь в интервале рассматриваемых температур [4–6].

При быстром охлаждении углеродистых сталей аустенит успевает сильно охладиться, не потерпев диффузионного распада на феррито-цементитную смесь. Но аустенит начиная с некоторой температуры T_0 не может существовать, поскольку его свободная энергия при этой температуре оказывается выше свободной энергии пересыщенного твердого раствора углерода в альфа-железе мартенсита.

В момент превращения мартенсит имеет одинаковый состав с исходным аустенитом и отличается от него лишь типом кристаллической решетки. Мартенсит — фаза метастабильная, и поэтому на диаграмме «железо — углерод» ее нет. В равновесных условиях, когда система обладает абсолютным максимумом свободной энергии, структура стали ниже точки A_1 и состоит из смеси двух стабильных фаз — феррита (Ф) и цементита (Ц). Мартенсит при всех температурах обладает большей свободной энергией, чем перлит, поэтому бездиффузионное превращение аустенита в мартенсит приводит систему к относительному минимуму свободной энергии. Это значит, что выделение карбидов железа из пересыщенного углеродом твердого раствора феррита термодинамически вероятно при любых температурах, но при температурах, близких к 20° С, скорость этого процесса бесконечно мала.

На рис. 3 представлена зависимость начала мартенситного превращения для порошковых сталей от плотности (пористости). Практически для всех материалов зависимость носит линейный характер, и с понижением плотности происходит увеличение температуры мартенситного превращения.

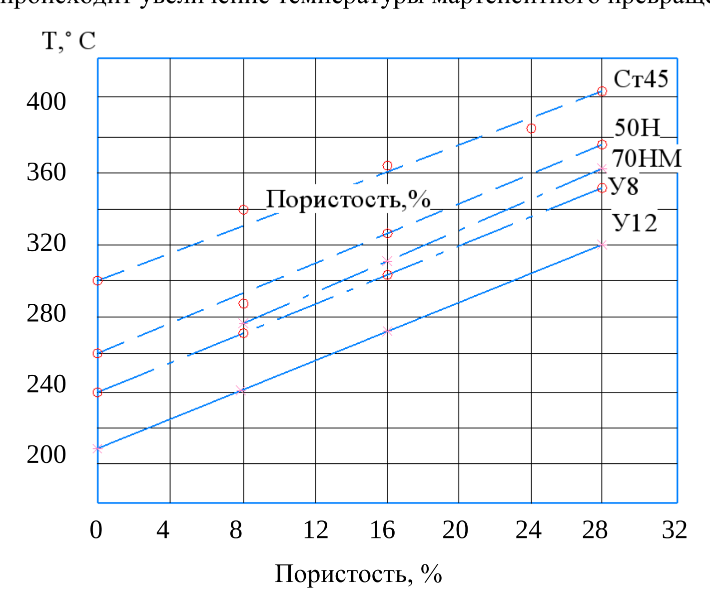


Рис. 3. Зависимость плотности образцов из порошковой стали от температуры мартенситного превращения

Линейную зависимость критических точек мартенситного превращения от плотности образцов можно объяснить тем, что общая плотность пропорциональна металлической поверхности пор, с ростом которой уменьшается степень влияния упругих сил взаимодействия [2, 7–8].

Экспериментальные исследования процессов бездиффузионного превращения пористого аустенита спеченных сплавов подтверждают сильное влияние пористости на смещение температуры начала мартенситного превращения углеродистых и легированных сталей в область более высоких температур. Как и у

компактных сталей, температура мартенситного превращения не зависит от скорости охлаждения и условий превращения аустенита (изотермического или при непрерывном охлаждении), а с увеличением углерода, легирующих элементов в спеченных сплавах с одной и тоже плотностью она понижается. При увеличении плотности спеченных образцов происходит уменьшение времени инкубационного периода и устойчивость аустенита снижается. Дальнейшее уменьшение плотности или увеличение пористости образцов приводит к росту температуры $М_н$ (рис. 4).

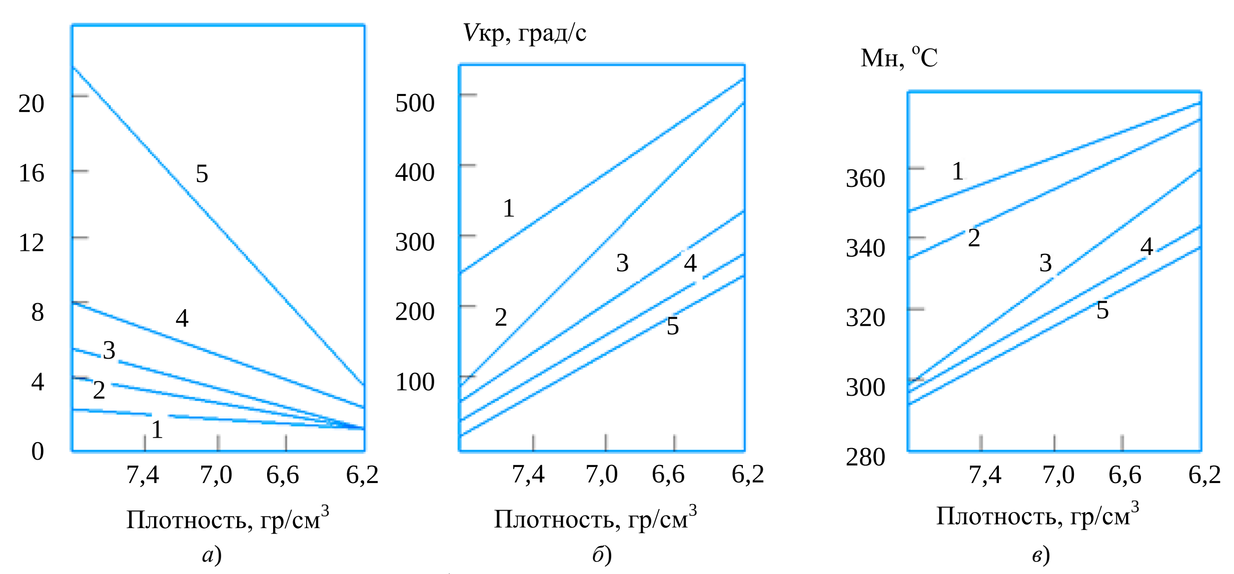


Рис. 4. Графики зависимости степени τ^{A}_{min} (а), скорости охлаждения при закалке (б) и $М_н$ (в) от плотности сплавов: 1 – ПЛ-ЖГр-0,5; 2 – ПЛ-ЖГр-0,5Х; 3 –ПЛ- ЖГр-0,5ХН; 4 – ПЛ-ЖГр-0,5Н2М; 5 – ПЛ-ЖГр-0,5ХНМ

Выводы. Применение термической обработки сплавов позволяет получать у них более высокие прочностные и пластические свойства, чем у литых сталей. Предварительно для этого требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований. Это позволит решить проблему создания новых сплавов за счет применения рациональных режимов термической обработки.

С увеличением гетерогенности твердого раствора рассматриваемых сталей критические точки A_1 и A_3, а также температура начала мартенситного превращения смещались в область более высоких температур. Такой характер смещения критических точек объясняется тем, что участки микронеоднородности, будучи готовыми центрами кристаллизации, являются наиболее вероятными местами гетерогенного возникновения зародышей мартенсита. Действительно, гетерогенное зарождение мартенсита связывают с особыми центрами зарождения, расположенными на микроучастках исходной фазы [8–9]. Такими центрами могут быть дефекты упаковки, возникающие при сцеплении дислокаций, различные микронеоднородности. Понижение температуры мартенситного превращения с увеличением степени гомогенности твердого раствора также можно объяснить в первую очередь обогащением его углеродом и другими легирующими элементами (хромом, молибденом).

В работе показано, что с увеличением процентного содержания углерода и пористости образцов точка начала мартенситного превращения понижается. Даже для компактных сталей содержание углерода в аустените не всегда одинаково либо из-за неравномерности его распределения, либо потому, что углерод входит в состав карбидных фаз [2, 6, 10].

Карбиды, находясь с аустенитом, на температуру начала мартенситного превращения влияния не оказывают. При повышении температуры закалки и увеличении времени выдержки, когда карбиды растворяются в аустените, концентрация углерода и легирующих в нем возрастает или выравнивается, точка Мн обязательно должна понижаться.

С увеличением гомогенности аустенита изменяется и состав твердого раствора, что оказывает решающее влияние на температуру закалки и точку Мн.

Библиографический список

1. Егоров, М. С. Методы получения железных и стальных порошков и конструкционных материалов на их основе / М. С. Егоров, Ж. В. Еремеева, Е. В. Егорова. — Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2021. — 250 с.

2. Порошковая металлургия в автомобилестроении и других отраслях промышленности / В. Ю. Лопатин, Ж. В. Еремеева, Г. Х. Шарипзянова, Н. М. Никитин. — Москва : Университет машиностроения, 2014. — 276 с.

3. Дорофеев, В. Ю. Горячая штамповка высокохромистого порошкового белого чугуна, микролегированного кальцием / В. Ю. Дорофеев, Х. С. Кочкарова // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка = Powder Metallurgy: Surface Engineering, New Powder Composite Materials. Welding : сб. докл. 10-го Междунар. симп. — Минск : Беларуская навука, 2017. — С. 93–104.

4. Kondo, H. Current trends and challenges in the global aviation industry / H. Kondo, M. Hegedus // Acta Metallurgica Slovaca. — 2020. — Vol. 26, iss. 4. — P. 141–143. http://dx.doi.org/10.36547/ams.26.4.763

5. Термокинетические и изотермические диаграммы порошковых сталей: справочник / Ю. Г. Гуревич, В. Н. Анциферов, В. Я. Буланов, А. Г. Ивашко. — Екатеринбург : УрО РАН, 2001. — 260 с.

6. Егорова, Р. В. Современные технологические процессы порошковой металлургии / Р. В. Егорова. — Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2021. — 47 с.

7. Егоров, С. Н. Горячедеформированные порошковые низколегированные конструкционные стали / С. Н. Егоров, М. С. Егоров. — Новочеркасск : Волгодонский ин-т (фил.) ЮРГТУ(НПИ), 2008. — 54 с.

8. Либерсон, Г. А. Процессы порошковой металлургии. В 2-х томах / Г. А. Либерсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. — Т. 2. — Москва : МИСиС, 2002. — 320с.

9. Robert-Perron, E. Tensile properties of sinter hardened powder metallurgy components machined in their green state / E. Robert-Perron, C. Blais, S. Pelletier // Powder Metallurgy. — 2009. — Vol. 52, iss. 1. — P. 80–83. http://dx.doi.org/10.1179/174329007X205055

10. German, R. M. Powder Metallurgy and Particulate Materials Processing / R. M. German. — USA : Metal Powder Industries Federation (MPIF), 2005. — 540 c.

Поступила в редакцию 05.04.2022
Поступила после рецензирования 19.05.2022
Принята к публикации 19.05.2022

Об авторах:

Егоров Максим Сергеевич, заведующий кафедрой «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, aquavdonsk@mail.ru.

Егорова Римма Викторовна, доцент кафедры «Кибербезопасность» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, rimmaruminskaya@gmail.com.

Цорданиди Георгий Георгиевич, доцент кафедры «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, f972@yandex.ru.

Заявленный вклад соавторов:

М. С. Егоров — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов; Р. В. Егорова, Г. Г. Цорданиди — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ







Научная статья
УДК 621. 762. 1
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-76-83

Определение зависимости механических свойств спеченных дисперсно-упрочненных сплавов на основе железа от условий спекания

М. С. Егоров, Р. В. Егорова
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Проблема создания новых спеченных материалов в настоящее время находится в центре внимания специалистов в области порошковой металлургии. При создании нового класса конструкционных материалов предстоит решить главную проблему — увеличение их прочности. Прочность достигается в первую очередь качественным межчастичным сращиванием дисперсно-упрочненных материалов, которое определяется механическими свойствами сплавов, показывающими степень его завершенности при спекании. В зависимости от плотности исходных материалов, температуры спекания и процентного содержания углерода, который вводится в шихту, меняются механические свойства полученных сплавов. Определение этих изменяющихся свойств является задачей исследований.

Постановка задачи. Для определения прочностных и пластических характеристик спеченных материалов необходимо исследовать, как влияет на материалы вводимый в шихту свободный углерод. Полученные образы с лучшими механическими свойствами взяты для проведения дальнейших исследований.

Теоретическая часть. В качестве теоретического описания проанализированы процессы спекания дисперсно-упрочненных сплавов, гомогенизации углерода и влияние плотности и давления прессования на механические свойства сплавов.

Выводы. Механические свойства полученных в результате исследования образцов спеченных материалов дают основание утверждать, что для достижения их большей прочности достаточно добавления в сплав 0,8 % углерода. Однако добавление углерода на 20–30 % уже снижает пластические характеристики сплавов. Эти данные, полученные в ходе проведенного исследования, должны помочь в определении материала, пригодного для изготовления изделий с высокими эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: спекание, углерод, сплавы, пределы прочности, предел текучести, относительное удлинение, микроструктура поверхности, фактография поверхности разрушения.

Для цитирования: Егоров, М. С. Определение зависимости механических свойств спеченных дисперсно-упрочненных сплавов на основе железа от условий спекания / М. С. Егоров, Р. В. Егорова // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 2. — С. 76–83. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-76-83

Original article

Determination of mechanical properties of sintered dispersion-strengthened iron-based alloys depending on sintering conditions

M. S. Egorov, R. V. Egorova
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The problem of creating new sintered materials is now in the center of attention of the entire domestic community in the field of powder metallurgy. Today, when creating a new class of structural materials, first of all, it is worth paying attention to their strength properties. The article considers technological features in the formation of high-quality interparticle splicing of dispersion-strengthened materials. High-quality splicing is primarily determined by the

mechanical properties of the alloys, which show the degree of its completeness during sintering. Depending on the density of the materials, the sintering temperature and the percentage of carbon that is introduced into the charge, the mechanical properties of the material also change. The determination of these properties is the main task of the research.
Problem Statement. To determine the strength and plastic characteristics of the materials under consideration, it is necessary to analyze how these characteristics are affected by free carbon introduced into the charge. Determination of mechanical properties will allow us to recommend an alloy with the best characteristics for further research.
Theoretical Part. As a theoretical description, the processes of sintering of dispersion-strengthened alloys, carbon homogenization, and the effect of compaction density and pressure on the mechanical properties of alloys are given.
Conclusions. The obtained mechanical properties show that the addition of 0.8% carbon is sufficient to achieve high strength characteristics. However, the addition of carbon by 20-30% reduces the plastic characteristics of the alloys. The results obtained in this work will help to recommend the material for the manufacture of products with high performance properties.

***Keywords*:** sintering, carbon, alloys, strength limits, yield strength, elongation, surface microstructure, fracture surface factography.

***For citation*:** Egorov M. S., Egorova R. V. Determination of mechanical properties of sintered dispersion-strengthened iron-based alloys depending on sintering conditions. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2022;2:76−83. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-76-83

Введение. Среди номенклатуры порошковых материалов наибольшее применение имеют сплавы на основе железа — стали. При создании новых конструкционных материалов наряду с требованиями повышения качества, надежности и эксплуатационной стойкости выдвигается задача экономии и замены дорогих и дефицитных легирующих элементов на менее дефицитные и невысокой стоимости. Этот факт послужил стимулом для нового витка развития отечественной металлургии в области получения материалов с заданными свойствами, развития методик оценки их свойств. В настоящее время существует большое количество наноразмерных добавок, имеющих различные свойства, причем одна и та же добавка может быть получена разными методами и иметь различные свойства, форму и размеры. Также вызывает особый интерес поиск ответа на вопрос, как введение наноразмерных частиц будет влиять на структурообразование сплавов при различных видах формования или деформации. Основополагающими процессами формирования горячедеформированных сплавов являются структурообразование материала и создание качественных связей между частицами порошка.

Целью работы является определение зависимости параметров предварительного спекания на формирование структуры и свойств высокоплотных дисперсно-упрочненных легированных сплавов. Сделать это необходимо для дальнейшего эффективного использования термической обработки с целью повышения механических и эксплуатационных свойств таких сплавов.

Постановка задачи. Для определения прочностных и пластических характеристик спеченных материалов необходимо проанализировать, как влияет на них вводимый в шихту свободный углерод. Знание этих механических свойств позволит авторам рекомендовать сплав с лучшими характеристиками для проведения дальнейших исследований.

Теоретическая часть. Спекание выполняет главную роль в процессе формирования комплекса физико-механических свойств сложнолегированных порошковых сталей. В дисперсно-упрочненных сплавах в процессе их спекания формируется структура, значительно отличающаяся от структуры литых и кованных материалов. Спеченные прессовки прежде всего — это пористые изделия, в которых количество пор может изменяться от 0,5–2 до 80–90%. Таким образом, для порошковых материалов и сплавов пористость выступает в качестве структурной составляющей. Формой пор, их величиной, морфологией и объемным содержанием определяются физико-химические, механические и другие свойства изделий, а также область их применения. При спекании в составе шихты особую роль играет наличие углерода, который добавляется в нее различными способами. Процентное содержание углерода выбирается исходя из того, какими свойствами должны будут обладать изделия после операции спекания. В нашем случае количество углерода бралось в процентном соотношении от общего объема материала и составляло 0,5 и 0,8 % соответственно [1–3].

Спекание является достаточно важной операцией в порошковой металлургии, и от выбора ее технологических режимов зависит качество получаемых изделий. Целесообразно рассматривать сразу два

последовательных этапа процесса спекания: образование и рост межчастичных контактов (начальная, ранняя стадия процесса), а также повышение плотности спекаемого тела вследствие уменьшения числа и объема пор (промежуточная и поздняя стадии). В реальных условиях оба этих процесса нельзя полностью разделить, они переплетаются и в значительной мере протекают параллельно [2–6].

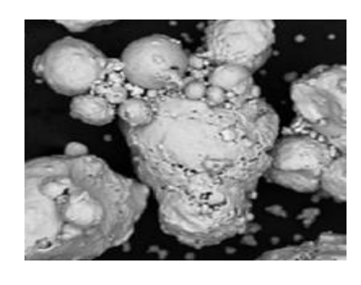
Поскольку процесс гомогенизации не успевает полностью произойти во время спекания сталей, полученных из шихты компонентов, это должно повлечь за собой образование неоднородной структуры. Наличие такой структуры наряду с пористостью делает систему неравновесной, что должно оказывать специфическое влияние на характер процессов, протекающих при нагреве и охлаждении порошковых сталей. Определяющими технологическими параметрами спекания прессовок являются температурный режим, продолжительность спекания, параметры предварительной обработки частиц материала давлением и др. Кроме них, необходимо учитывать определенные особенности, присущие процессам спекания однокомпонентных и многокомпонентных материалов. При спекании однокомпонентных материалов диффузионные процессы в большинстве случаев способствуют уплотнению тел, а в многокомпонентных системах может возникнуть торможение процесса уплотнения и даже расширение спекаемого объема вследствие неравномерности диффузии. Снижение свободной энергии многокомпонентной системы при спекании может происходить не только в результате уменьшения поверхности и числа пор, рекристаллизации и сокращения плотности дефектов кристаллического строения, но и вследствие образования сплавов. При этом использование низкоокисленных и мелкодисперсных частиц сплавов, высокая температура спекания перед прессованием и максимально возможное уплотнение прессовок давлением способствуют процессу сплавообразования [7–10].

Анализируя факторы, влияющие на процесс спекания и соответственно на качество получаемых материалов и изделий из них, нельзя не учитывать такой важный параметр, как фактор времени.

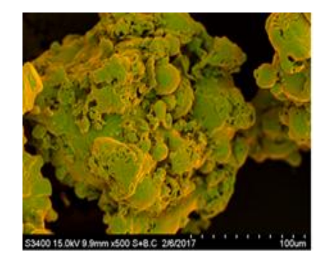
Строение порошковых сталей оказывает влияние не только на температуру, но и на кинетику аустенизации. В условиях скоростного нагрева не только снижается температура начала превращения, но и уменьшается инкубационный период, увеличиваются температурные и временные интервалы превращения. С увеличением пористости, содержания неметаллических включений, повышением дефектности частиц порошка указанные особенности процесса аустенизации усиливаются.

Чтобы получить качественное межчастичное сращивание, которое характеризует высокие механические свойства, необходимо добиться полного растворения углерода в шихте сплава.

В настоящей работе были применены современные порошковые смеси марок ПЛ-Н4Д2М и ПЖРВ 2.200.26 производства АО «Северсталь» (г. Череповец) (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Рентгеноструктурный анализ частиц сплава: а) сплав ПЛ-Н4Д2М; б) сплав ПЖРВ 2.200.26

Данные об их химическом составе приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сплавов

Марка сплава	Массовое содержание компонентов, %									
	Mo	Ni	C	O	H	Cu	Si	Mn	P	S
ПЖРВ 2.200.26	–	–	0,09	0,14	–	–	0,014	0,087	0,012	0,005
ПЛ-Н4Д2М	0,45–0,55	3,5–4,5	0,02	0,2	–	1,3–1,7	–	–	0,02	0,02

Химический состав сплавов выбирали исходя из состава легирующих элементов и оценки влияния этих элементов на механические свойства [11–14].

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим зависимости механических свойств сплава марки ПЛ-Н4Д2М от плотности изготовленных образцов и количества вводимого в шихту углерода (рис. 2). Спекание

проводили при температуре 1200° С в течение 30 минут. В шихту добавляли соответственно 0,5 и 0,8 % углерода [15–18].

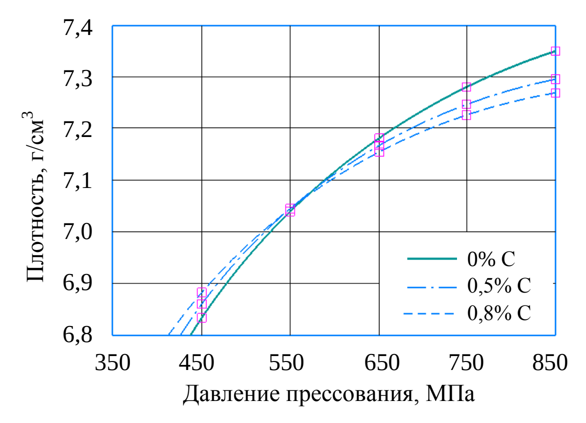


Рис. 2. Уплотняемость шихты сплава ПЛ-Н4Д2М в зависимости от давления прессования и количества вводимого углерода

Образцы для растяжения были выполнены с различной плотностью (от 6,7 до 7,6 г/см^3), с различным содержанием углерода и спекались в среде диссоциированного аммиака в течение 30 минут при температуре Т = 1200° С. Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 3–6.

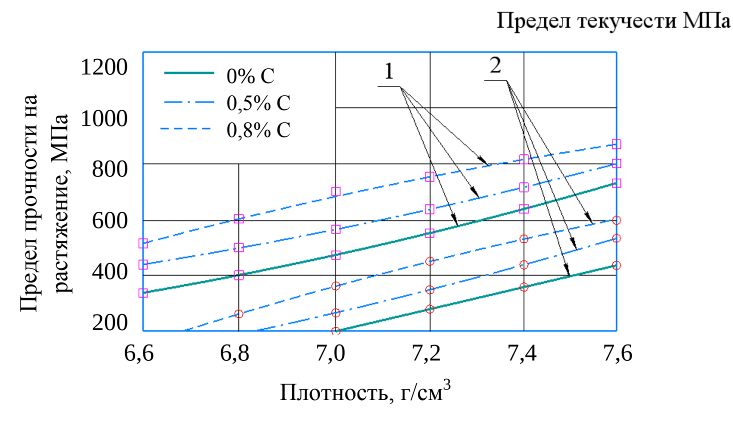


Рис. 3. Зависимости предела прочности на растяжение (прямые 1) и предела текучести (прямые 2) от плотности образцов при спекании при Т = 1200° С в течение 30 минут сплава ПЛ-Н4Д2М (содержание углерода в шихте 0 % С, 0,5 % С, 0,6 % С)

Итоги проведенного эксперимента: предел прочности чистого сплава ПЛ-Н4Д2М показывает при плотности 7,6 г/см^3 значение 750 МПа, а при добавлении углерода в количестве 0,8 % значение возрастает до 900 МПа.

Далее определим зависимость твердости сплава ПЛ-Н4Д2М от плотности образцов и содержания углерода.

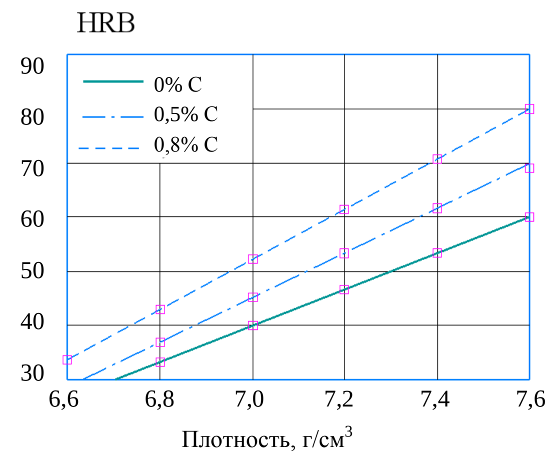


Рис. 4. Зависимость твердости HRB от плотности образцов при спекании при Т = 1200° С в течение 30 минут сплава ПЛ-Н4Д2М (0 % С, 0,5 % С, 0,8 % С)

Отметим изменения относительного удлинения образцов при разрыве в зависимости от их плотности и количества в шихте углерода.

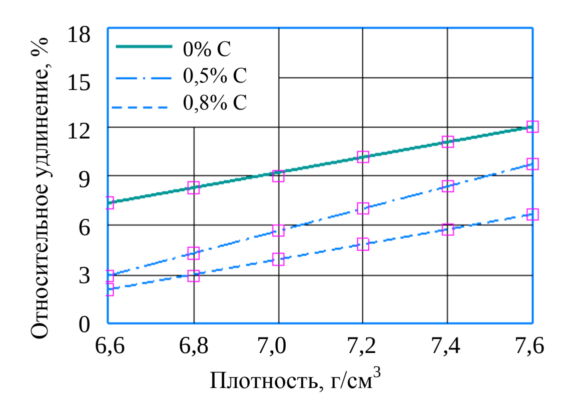


Рис. 5. Зависимость относительного удлинения при растяжении от плотности образцов при спекании при Т = 1200° С в течение 30 минут сплава ПЛ-Н4Д2М (0 % С, 0,5 % С, 0,8 % С)

Данные, представленные на рис. 5, показывают, что данный сплав обладает лучшими пластическими характеристиками при растяжении, чем сплавы шведской фирмы Хеганес.

Следующий шаг — определим зависимость усадки образцов от плотности и количества вводимого в шихту углерода.

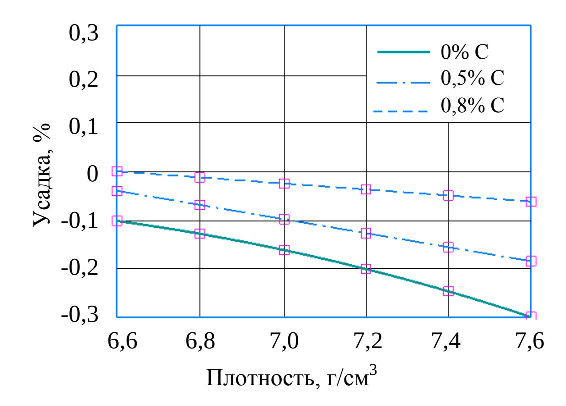


Рис. 6. Зависимость усадки от плотности образцов при спекании при Т = 1200° С в течение 30 минут сплава ПЛ-Н4Д2М (0 % С, 0,5 % С, 0,8 % С)

Теперь проанализируем зависимость механических свойств сплава марки ПЖРВ 2.200.26 от плотности изготовленных образцов и количества вводимого в шихту углерода (рис. 7). Спекание проводили при температуре 1100° С в течение 30 минут. В шихту добавляли соответственно 0,5 и 0,8 % углерода.

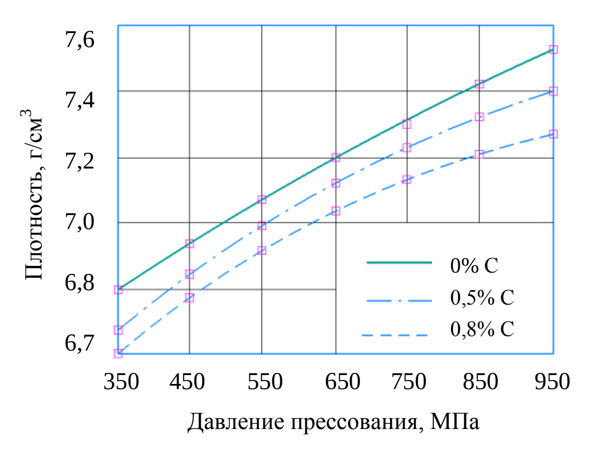


Рис. 7. Уплотняемость шихты сплава ПЖРВ 2.200.26 в зависимости от давления прессования и количества вводимого углерода

Образцы для растяжения были выполнены с различной плотностью (от 6,7 до 7,6 г/см^3), с различным содержанием углерода и спекались в среде диссоциированного аммиака в течение 30 минут при температуре Т = 1100° С.

Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 8–10.

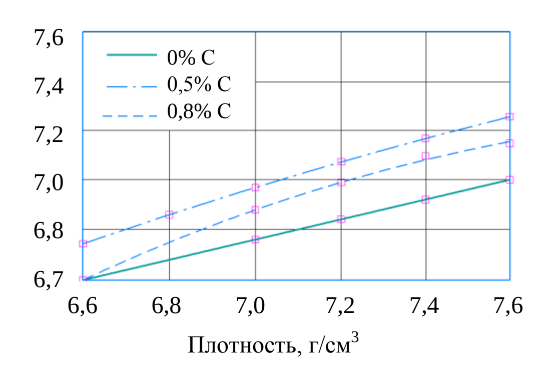


Рис. 8. Зависимости предела прочности на растяжение от плотности образцов при спекании при Т = 1100° С в течение 30 минут сплава ПЖРВ 2.200.26 (содержание углерода в шихте 0 % С, 0,5 % С, 0,8 % С)

Прочностные характеристики данного сплава уступают показателям сплава ПЛ-Н4Д2М. Так, при плотности 7,6 г/см^3 предел прочности чистого сплава ПЖРВ 2.200.26 составляет всего 200 Мпа.

Далее рассмотрим зависимость твердости от плотности образцов и содержания углерода для сплава ПЖРВ 2.200.26.

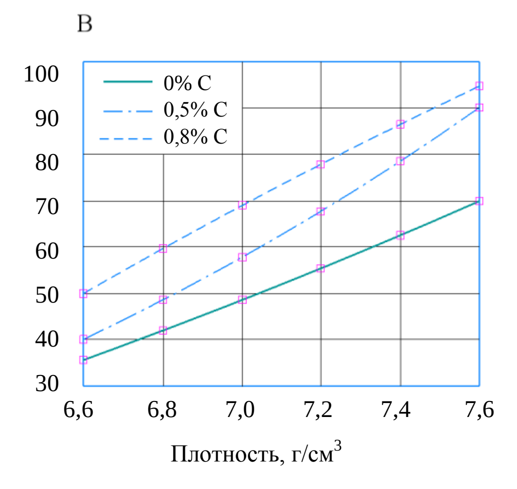


Рис. 9. Зависимость твердости HRB от плотности образцов при спекании при Т = 1100° С в течение 30 минут сплава ПЖРВ 2. 200.26 (0 % С, 0,5 % С, 0,8 % С)

Рассмотрим изменение относительного удлинения образцов при разрыве в зависимости от их плотности и количества в шихте углерода.

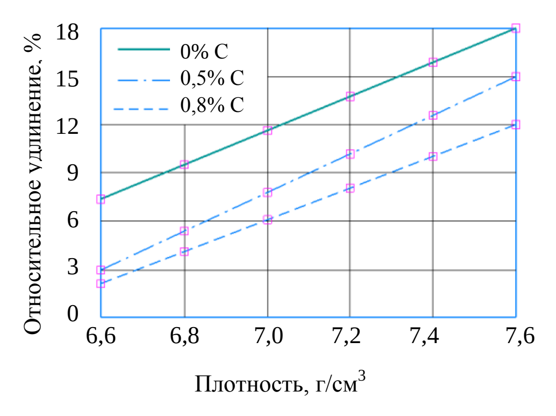


Рис. 10. Зависимость относительного удлинения при растяжении от плотности образцов при спекании при Т = 1100° С в течение 30 минут сплава ПЖРВ 2.200.26 (0 % С, 0,5 % С, 0,8 % С)

Результаты, представленные на рис. 10, показывают, что данный сплав обладает лучшими пластическими характеристиками при растяжении, чем сплав марки ПЛ-Н4Д2М. При содержании углерода 0,8 % в сплаве с плотностью 7,6 г/см^3 показатель относительного удлинения составляет 12 %.

Оценка механических свойств сплавов после спекания показала, что с повышением вводимого в шихту углерода прочностные свойства увеличиваются на 25–30 % по сравнению с чистыми сплавами. Увеличение плотности также сильно влияет на прочностные и пластические свойства таких материалов [19–20].

Выводы. Экспериментальным путем авторами определены зависимости прочностных и пластических характеристик спеченных сплавов от плотности образцов, а также от вводимого в шихту углерода. Установлено, что спекание в течение 30 минут для чистых железных сплавов является минимальным временем, при котором происходит гомогенизация углерода в металлической матрице. Температура спекания в 1 100° С для таких материалов является абсолютно обоснованной, и повышение температуры не будет иметь значения для ускорения процесса спекания. Показаны прочностные свойства рассмотренных сплавов в зависимости от процентного содержания углерода в исходной шихте. Для сплава ПЛ-Н4Д2М оптимальной температурой спекания является 1 200° С, что на 100° С превышает температуру спекания для железных сплавов. Полученные результаты показывают, что наилучшие прочностные свойства достигаются при спекании сплава ПЛ-Н4Д2М+0,8 % С в течение 30 минут при температуре 1200° С.

Библиографический список

1. Егоров, М. С. Методы получения железных и стальных порошков и конструкционных материалов на их основе / М. С. Егоров, Ж. В. Еремеева, Е. В. Егорова. — Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2021. — 250 с.

2. Волков, Г. М. Исторические предпосылки и перспективы нанотехнологии / Г. М. Волков // Нанотехнологии: наука и производство. — 2017. — № 2. — С. 23–31.

3. Волкогон, Г. М. Производство металлических нанопорошков химическими способами / Г. М. Волкогон, О. С. Гаврилин, А. Д. Ратнер // Нанотехнологии и информационные технологии — технологии XXI века : матер. Междунар. науч.-практ. конф. — Москва, 2006. — С. 127–129.

4. Егоров, С. Н. Горячедеформированные порошковые низколегированные конструкционные стали : моногр. / С. Н. Егоров, М. С. Егоров. — Новочеркасск : Волгодонский ин-т (фил.) ЮРГТУ (НПИ), 2008. — 54 с.

5. Каблов, Е. Н. Материалы для высокотеплонагруженных деталей газотурбинных двигателей / Е. Н. Каблов, О. Г. Оспенникова, О. А. Базылева // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия Машиностроение. — 2011. — № SP2. — С. 13–19.

6. Robert-Perron, E. Tensile properties of sinter hardened powder metallurgy components machined in their green state / E. Robert-Perron, C. Blais, S. Pelletier // Powder Metallurgy — 2009. — Vol. 52, iss. 1. — P. 80–83.

7. Kondo, H. Current trends and challenges in the global aviation industry / H. Kondo, M. Hegedus // Acta Metall. Slovaca. — 2020. — Vol. 26. — P. 141–143.

8. Chang, I. Automotive Applications of Powder Metallurgy in Advanced in Powder Metallurgy / I. Chang, Y. Zhao // Woodhead Publishing Series: Cambridge, UK. — 2013. — P. 493–519.

9. Либенсон, Г. А. Процессы порошковой металлургии: учеб. пособие в 2- х томах / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. — Москва : МИСИС, 2002. — Т. 2. — 320 с.

10. Дорофеев, В. Ю. Горячая штамповка высокохромистого порошкового белого чугуна, микролегированного кальцием / В. Ю. Дорофеев, Х. С. Кочкарова // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка = Powder Metallurgy: Surface Engineering, New Powder Composite Materials. Welding : сб. докл. 10-го междунар. симп. — Минск : Беларуская наука, 2017. — С. 93–104.

11. Chagnon, Fr. Effect of Ni addition route on static and dynamic properties of Fe-2Cu-1.8Ni-0.5Mo-0.65C and Fe-2Cu-1.8Ni-0.5Mo-0.85C PM steels / Fr. Chagnon // Adv. Powder Metall. Part. Mater. — 2012. — Vol. 2. — P. 10.73–10.84.

12. Анциферов, В. Н. Механика процессов прессования порошковых и композиционных материалов / В. Н. Анциферов, В. Е. Перельман. — Москва : Грааль, 2001. — 631 с.

13. The Influence of Silicon on the Mechanical Properties and Hardenability of PM Steels / C. Schade, T. Murphy, A. Lawley, R. Doherty // Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials - 2013, Proceedings of the 2013 International Conference on Powder Metallurgy and Particulate Materials, PowderMet. — 2013. — P. 754–772.

14. Исследование процессов термической обработки порошковых сталей, легированных наноразмерными добавками / Ж. В. Еремеева, Н. М. Никитин, Н. П. Коробов, Ю. С. Тер-Ваганянц // Нанотехнологии: наука и производство. — 2016. — № 1 (38). — С. 63–74.

15. Порошковая металлургия в автомобилестроении и других отраслях промышленности / В. Ю. Лопатин, Ж. В. Еремеева, Г. Х. Шарипзянова, Н. М. Ниткин. — Москва : Университет машиностроения, 2014. — 276 с.

16. Износостойкие композиционные материалы / Ю. Г. Гуревич, В. Н. Анциферов, Л. М. Савиных [и др.]. — Екатеринбург : УрО РАН, 2005. — 215 с.

17. Скориков, Р. А. Электроимпульсное спекание порошковой углеродистой стали, упрочненной наночастицами / Р. А. Скориков // Нанотехнологии: наука и производство. — 2015. — № 2 (34). — С. 34–40.

18. Дьячкова, Л. Н. Влияние нанодисперсных добавок на структуру и свойства порошковой углеродистой и высокохромистой стали / Л. Н. Дьячкова, М. М. Дечко // Нанотехнологии: наука и производство. — 2015. — № 3 (35). — С. 5–14.

19. Панов, В. С. Влияние наноразмерных легирующих добавок на структуру и свойства порошковых углеродистых сталей / В. С. Панов, Р. А. Скориков // Нанотехнологии: наука и производство. — 2015. — № 3 (35). — С. 40–45.

20. Егоров, М. С. Пластичность композиционных материалов с определением температурных режимов горячей штамповки, исключающих появление дефектов в структуре материала / М. С. Егоров, Р. В. Егорова // Заготовительные производства в машиностроении. — 2019. — Т. 17, № 2. — С. 66–72.

Поступила в редакцию 15.04.2022
Поступила после рецензирования 20.05.2022
Принята к публикации 20.05.2022

Об авторах:

Егоров Максим Сергеевич, заведующий кафедрой «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, aquavdonsk@mail.ru.

Егорова Римма Викторовна, доцент кафедры «Кибербезопасность» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, rimmaruminskaya@gmail.com.

Заявленный вклад соавторов:

М. С. Егоров — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов; Р. В. Егорова — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.